

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра производственной и экологической безопасности

**Т.Ф. Михнюк**

**ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ  
РАДИОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА**

Учебное пособие  
для студентов радиотехнических  
и приборостроительных специальностей дневной,  
вечерней и заочной форм обучения

Минск 2003

УДК 658.382.3 (075)

ББК 65.247 я 73

М 69

**Р е ц е н з е н т:**

зав. кафедрой охраны труда БНТУ, проф., д-р техн. наук А.М. Лазаренков

**Михнюк Т.Ф.**

**М 69**

Защита от электромагнитных полей радиочастотного диапазона: Учеб. пособие для студентов радиотехнических и приборостроительных специальностей дневной, вечерней и заочной форм обучения / Т.Ф. Михнюк. – Мн.: БГУИР, 2003. – 47 с.

ISBN 985-444-536-4.

Учебное пособие разработано в соответствии с программой курса «Охрана труда с основами экологии», содержит материал по оценке опасности электромагнитных полей (ЭМП) в производственных условиях и на территории жилой застройки, сведения по способам и средствам защиты, примеры решения задач по оценке количественных и качественных характеристик ЭМП и индивидуальные задания для практических занятий.

**УДК 658.382.3 (075)**

**ББК 65.247 Я 73**

**ISBN 985-444-536-4**

**© Михнюк Т.Ф., 2003**

**© БГУИР, 2003**

## Содержание

Введение.....	6
1. Оценка опасности и вредности электромагнитного облучения.....	7
1.1. Гигиеническая оценка и нормирование ЭМП в производственных условиях и на территории жилой застройки.....	7
1.2. Расчет плотности потока энергии, создаваемой РЛС на прилегающих территориях.....	11
2. Способы и средства защиты от электромагнитных полей.....	18
2.1. Технические методы и средства, организационные и лечебно-профилактические мероприятия.....	18
2.2. Электрогерметичные помещения и замкнутые экраны.....	21
2.3. Защита при промышленной электротермии.....	23
2.4. Меры защиты от ЭМП при работе на радиополигонах и обслуживании радиолокационных станций.....	23
2.5. Защита жилой застройки от ЭМП.....	24
3. Примеры решения задач.....	25
4. Индивидуальные задания для практических занятий.....	29
Литература.....	40

## Введение

В результате научно-технического прогресса широкое применение в промышленности, науке и быту в последние десятилетия получила электромагнитная энергия (ЭМЭ) различных диапазонов частот. Так, энергия высоких и ультравысоких радиочастот (ВЧ, УВЧ) широко применяется в радиосвязи, радиовещании, телевидении, в промышленных установках и технологических процессах для нагрева, закалки иковки металлов, термической обработки диэлектриков и полупроводников. Электромагнитная энергия сверхвысоких частот (СВЧ) получила широкое применение в радиолокации, радионавигации, радиоастрономии, радиоспектроскопии, ядерной физике, медицине, промышленности и быту. Кроме того, дальнейшее совершенствование новых типов СВЧ-генераторов позволит в ближайшем будущем применять энергию СВЧ-диапазона в радарных системах транспортных средств для предупреждения столкновений, в дорожных системах сигнализации, в мощных системах наземной и спутниковой связи и др.

В связи с этим значительное влияние на электромагнитный фон Земли, который ранее формировался главным образом за счёт естественных источников космического, земного и околоземного происхождения, стали оказывать искусственные источники электромагнитного поля (ЭМП). В результате уже в настоящее время практически всё население земного шара в большей или меньшей степени подвергается воздействию надфоновых уровней ЭМП.

В процессе эволюционного развития все живые существа на Земле приспособились к определённым изменениям природных электромагнитных полей и, по мнению большинства исследователей, вынуждены были выработать по отношению к ним не только защитные механизмы, но и в какой-то степени включить их в свою жизнедеятельность. Поэтому увеличение или уменьшение параметров ЭМП, значительно отличающихся от адекватных, могут вызвать в организмах функциональные сдвиги, в ряде случаев перерастающие в патологические.

О биологической значимости ЭМП свидетельствуют как давние наблюдения, так и экспериментальные исследования последних лет на различном уровне организации биологических систем. При этом установлено, что воздействие искусственных ЭМП на биообъекты обусловлено не только энергетическими, но и информационными его характеристиками, вызывая тепловое и нетепловое действие.

Исследования по изучению влияния ЭМП радиочастотного диапазона на организм человека выявили определённые функциональные сдвиги со стороны нервной, сердечно-сосудистой и дыхательной систем, изменения показателей крови, обмена веществ и некоторых функций эндокринных желез. При обследовании большого контингента людей в производственных условиях установлено, что количество и частота жалоб на ухудшение самочувствия возрастают с увеличением профессионального стажа, причём при хроническом облучении более ранние и более выраженные реакции обнаруживаются со стороны нервной системы. Психоневрологические симптомы появляются в виде постоянной головной боли, повышенной утомляемости, слабости, нарушения сна, повышенной раздра-

жительности, ослаблении памяти и внимания. Иногда наблюдаются приступообразная головная боль, побледнение кожных покровов, адинамия и обморочные состояния. При длительном воздействии СВЧ-излучений могут иметь место изменения в крови, помутнение хрусталика (катаракта), трофические заболевания (выпадение волос, похудение, ломкость ногтей) и др. Таким образом, признанная биологическая значимость ЭМП, всё возрастающая роль искусственных источников ЭМП в формировании электромагнитной обстановки в производственной и окружающей среде являются важной предпосылкой для освоения будущими специалистами и руководителями производств методик гигиенической оценки и прогнозирования электромагнитных полей в рабочей зоне и жилой территории, определения санитарно-защитных зон и применения других инженерно-технических способов и средств по снижению вредного воздействия ЭМП на организм человека.

## 1. Оценка опасности и вредности электромагнитного облучения

### 1.1. Гигиеническая оценка и нормирование ЭМП в производственных условиях и на территории жилой застройки

Гигиеническая оценка электромагнитного поля заключается в измерении или расчете (при прогнозировании) ожидаемых уровней нормируемых энергетических характеристик поля: напряженностей электрической  $E$ , В/м, и магнитной  $H$ , А/м, составляющих в диапазонах высоких (30 кГц - 30 МГц) и ультравысоких (30 - 300 МГц) частот и плотности потока энергии ( $ППЭ$ ), Вт/м<sup>2</sup> (мкВт/см<sup>2</sup>), в диапазоне сверхвысоких частот (300 МГц - 300 ГГц) и сравнении их фактических значений на рабочих местах (в рабочей зоне) или на территории жилой застройки с предельно допустимыми  $E_{ПД}$ ,  $H_{ПД}$ ,  $ППЭ_{ПД}$  в зависимости от продолжительности воздействия.

Достоверная оценка опасности и вредности электромагнитного поля на производстве или в жилой зоне позволяет определить необходимость проведения профилактических мероприятий против их вредного воздействия на организм людей и применения способов и средств защиты.

Рассчитанные значения нормируемых энергетических характеристик поля допускается использовать для гигиенической оценки его на планируемых производствах или объектах с источниками электромагнитных излучений, то есть для прогнозирования электромагнитной обстановки в том или ином производственном помещении или на территории жилых застроек.

Расчетные формулы для определения  $E$ ,  $H$  и  $ППЭ$  представлены в табл. 1.

## Расчетные формулы

Частота ЭМП	Формулы для расчета нормируемых параметров	Обозначения
от 30 кГц до 300 МГц	$E = \frac{I \cdot L}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \omega \cdot r^3}, \text{ В/м}$	$I$ , – ток в проводнике (антенне); А $L$ , – длина проводника (антенны); м
	$H = \frac{I \cdot L}{4 \cdot \pi \cdot r^2}, \text{ А/м}$	$\varepsilon$ – диэлектрическая проницаемость среды; Ф/м $\omega$ – круговая частота поля, рад/с
От 300 МГц до 300 ГГц	$ППЭ \approx \frac{P_{изл}}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \cdot \Phi_3, \text{ Вт/м}$ $ППЭ \approx \frac{P_{изл} \cdot g}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \cdot \Phi_3, \text{ Вт/м}$	$P_{изл}$ – излучаемая мощность, Вт $r$ – расстояние до излучателя, м $g$ – коэффициент усиления антенны $\Phi_3$ – фактор земли, зависящий от типа передатчика и характеристики трассы

В диапазоне частот 300 Гц - 30 кГц устанавливаются фиксированные значения предельно допустимых уровней, равные их электрической составляющей 1000 В/м (для условий шахт- 500 В/м), по магнитной составляющей - 25 А/м.

Для персонала предельно допустимое значение  $E$  и  $H$  в диапазоне частот 30 кГц - 300 МГц на рабочем месте следует определять исходя из допустимой энергетической нагрузки и времени воздействия по формулам:

$$E_{ПД} = \sqrt{\frac{\text{ЭН}_{E_{ПД}}}{T}}, \quad H_{ПД} = \sqrt{\frac{\text{ЭН}_{H_{ПД}}}{T}},$$

где  $T$  – время воздействия, ч;

$\text{ЭН}_{E_{ПД}}$  и  $\text{ЭН}_{H_{ПД}}$  – предельно допустимое значение энергетической нагрузки в течение рабочего дня, соответственно в  $(\text{В/м})^2 \cdot \text{ч}$  и  $(\text{А/м})^2 \cdot \text{ч}$  (табл. 2.).

Таблица 2

## Предельно допустимые значения энергетической нагрузки

Параметр	Предельные значения в диапазоне частот, МГц		
	от 0,03 до 3,0	свыше 3 до 30	свыше 30 до 300
$\text{ЭН}_{E_{ПД}}, (\text{В/м})^2 \cdot \text{ч}$	20000	7000	800
$\text{ЭН}_{H_{ПД}}, (\text{А/м})^2 \cdot \text{ч}$	200	—	—

Для диапазона 30 кГц – 300 ГГц при воздействии на персонал ЭМП от нескольких источников, работающих в частотных диапазонах, для которых установлены единые предельно допустимые уровни, следует определять суммарную энергетическую нагрузку при равных ПДУ по формуле:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}N_{E_1} + \mathcal{E}N_{E_2} + \dots + \mathcal{E}N_{E_n} &\leq \mathcal{E}N_{E_{\text{ПД}}}, \\ \mathcal{E}N_{H_1} + \mathcal{E}N_{H_2} + \dots + \mathcal{E}N_{H_n} &\leq \mathcal{E}N_{H_{\text{ПД}}}, \\ \mathcal{E}N_{\text{ППЭ}_1} + \mathcal{E}N_{\text{ППЭ}_2} + \dots + \mathcal{E}N_{\text{ППЭ}_n} &\leq \mathcal{E}N_{\text{ППЭ}_{\text{ПД}}}. \end{aligned}$$

При наличии источников, работающих в частотных диапазонах, для которых установлены разные значения ПДУ, безопасность воздействия ЭМП оценивается суммой отношений энергетических нагрузок, создаваемых каждым источником и соответствующим предельно допустимым значениям параметра:

$$\frac{\mathcal{E}N_{E_1}}{\mathcal{E}N_{E_{\text{ПД}1}}} + \frac{\mathcal{E}N_{E_2}}{\mathcal{E}N_{E_{\text{ПД}2}}} + \dots + \frac{\mathcal{E}N_{E_n}}{\mathcal{E}N_{E_{\text{ПД}n}}} \leq 1.$$

При воздействии на персонал ЭМП с различными нормируемыми параметрами безопасность воздействия оценивается по критерию:

$$\frac{\mathcal{E}N_{\text{ППЭ}}}{\mathcal{E}N_{\text{ППЭ}_{\text{ПД}}}} + \frac{\mathcal{E}N_E}{\mathcal{E}N_{E_{\text{ПД}}}} \leq 1, \quad \frac{\mathcal{E}N_{\text{ППЭ}}}{\mathcal{E}N_{\text{ППЭ}_{\text{ПД}}}} + \frac{\mathcal{E}N_H}{\mathcal{E}N_{H_{\text{ПД}}}} \leq 1.$$

Одновременное воздействие электрического и магнитного полей в диапазоне от 0,03 до 3,0 МГц следует считать допустимыми при условии:

$$\frac{\mathcal{E}N_E}{\mathcal{E}N_{E_{\text{ПД}}}} + \frac{\mathcal{E}N_H}{\mathcal{E}N_{H_{\text{ПД}}}} \leq 1.$$

Предельно допустимые значения ППЭ в диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц следует определять исходя из допустимой энергетической нагрузки ( $\mathcal{E}N_{\text{ППЭ}_{\text{ПД}}}$ ), равной 2 Вт·ч/м<sup>2</sup> или 200 мкВт·ч/см<sup>2</sup>, и времени воздействия ( $T$ , ч) по формуле:

$$\text{ППЭ}_{\text{ПД}} = K \frac{\mathcal{E}N_{\text{ППЭ}_{\text{ПД}}}}{T},$$

где  $K$  - коэффициент ослабления биологической активности, равный 1 (единице) для всех случаев воздействия, исключая облучение от вращающихся и сканирующих антенн, и 10 (десяти) - для случаев облучения от вращающихся и сканирующих антенн с частотой вращения или сканирования не более 1 Гц и скважностью не менее 50.

Для жилой территории предельно допустимые уровни (ПДУ) распространяются на диапазон частот 30 кГц - 300 ГГц.

ПДУ ЭМП для населения при круглосуточном непрерывном излучении в диапазоне частот 30 кГц - 30 ГГц указаны в табл. 3.

ПДУ ЭМП для населения

№ диапазона	Частоты	Длина волны	ПДУ
5	30 - 300 кГц	10 - 1 км	25 В/м
6	0,3 - 3 МГц	1 - 0,1 км	15 В/м
7	3 - 30 МГц	100 - 10 м	10 В/м
8	30 - 300 МГц	10 - 1 м	3 В/м
9	300 - 3000 МГц	1 - 0,1 м	10 мкВт/см <sup>2</sup>
10	3 - 30 ГГц	10 - 1 см	10 мкВт/см <sup>2</sup>

Уровни ЭМП в 9 - 11 диапазонах при импульсном излучении на жилой территории в районах, действующих, проектируемых и реконструируемых РЛС, а также на территории, предназначенной для перспективного градостроительного освоения в районе действующих РЛС, не должны превышать ПДУ, указанных табл. 4.

Таблица 4

ПДУ ЭМП для РЛС

Назначение РЛС	№ диапазона	Длина волн, см	Режим работы		Отношение продолжительности работы на излучение к общему времени работы в сутки	ПДУ, мкВт/см <sup>2</sup>
			Частота сканирования антенны, Гц	Время облучения с однопорядковой интенсивностью		
Метеорологические РЛС и другие им подобные по режиму работы при общей продолжительности работы 12 ч/сут	11	0,8 ± 15%	≤ 0,1	≤ 0,03 периода сканирования ≤ 12 часов в сутки	0,5	140
			0		1,0	10
	10	3 ± 20%	≤ 0,1	≤ 0,04 периода сканирования ≤ 12 часов в сутки	0,5	60
			0		1,0	10



	9	$10 \pm 15\%$	0	$\leq 12$ часов в сутки	0,5	20
	9	$17 \pm 15\%$	0,25	$\leq 12$ часов в сутки	1	12
Обзорные РЛС гражданской авиации и другие им подобные по режиму работы	9	$10 \pm 20\%$	$\leq 0,25$	$\leq 0,05$ периода сканирования	1	15
	9	$23 \pm 15\%$	$\leq 0,25$	$\leq 0,02$ периода сканирования	1	20
	9	$35 \pm 15\%$	$0 \leq 0,25$	$\leq 0,02$ периода сканирования	1	25

## 1.2. Расчёт плотности потока энергии, создаваемой РЛС на прилегающих территориях

Электромагнитные поля, создаваемые радиолокационными станциями, формируются в виде луча или лепестка игольчатой формы, называемой диаграммой направленности.

Диаграмма направленности (ДН) может быть изображена в полярной (рис. 1а) и прямоугольной (рис. 1б) системе координат.

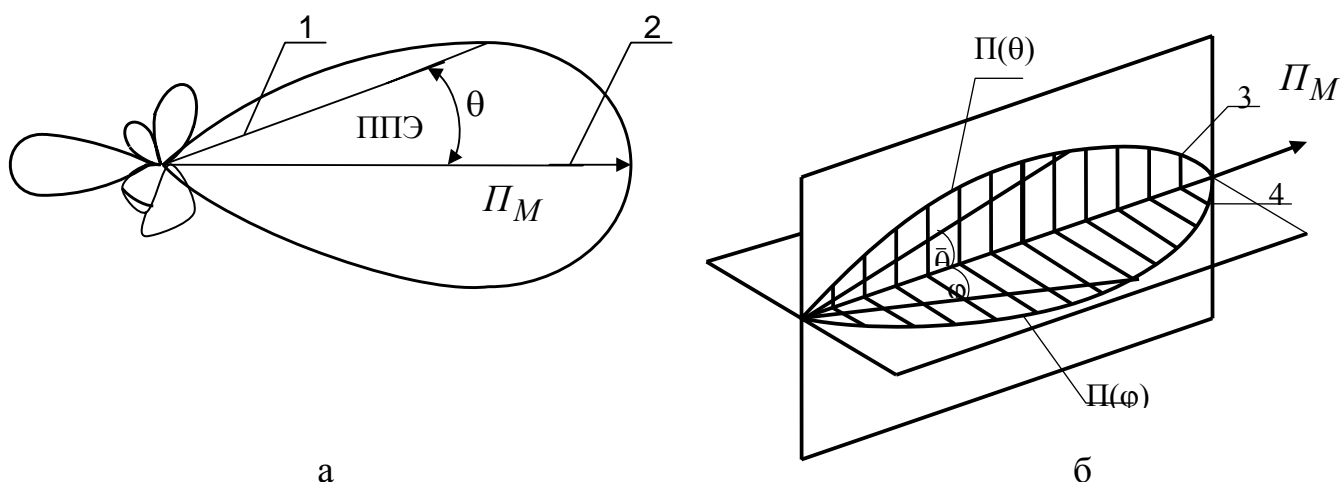


Рис. 1. Диаграммы направленности РЛС:

1 -  $ППЭ$  в заданном направлении (расстояние от центра диаграммы до ее кривой); 2 -  $ППЭ$  максимальная,  $P$  (м); 3 - диаграмма по мощности в вертикальной плоскости,  $P(\theta)$ ; 4 - то же в горизонтальной плоскости,  $P(\varphi)$ .

Диаграммы направленности по мощности в вертикальной  $\Pi(\theta)$  и горизонтальной  $\Pi(\varphi)$ , плоскостях показывают распределение плотности энергии в зависимости от расстояния.

В практике пользуются нормированными диаграммами направленности, а нормирование производят по максимальному значению  $\Pi_M$ :

- в вертикальной плоскости  $F^2(\theta) = \frac{\Pi(\theta)}{\Pi_M} = \frac{\Pi(\theta / \theta_{0,5})}{\Pi_M}$ ,
- в горизонтальной плоскости  $F^2(\theta\varphi) = \frac{\Pi(\varphi)}{\Pi_M}$ .

Вид нормированной диаграммы направленности в вертикальной плоскости в прямоугольной системе координат показан на рис. 2.

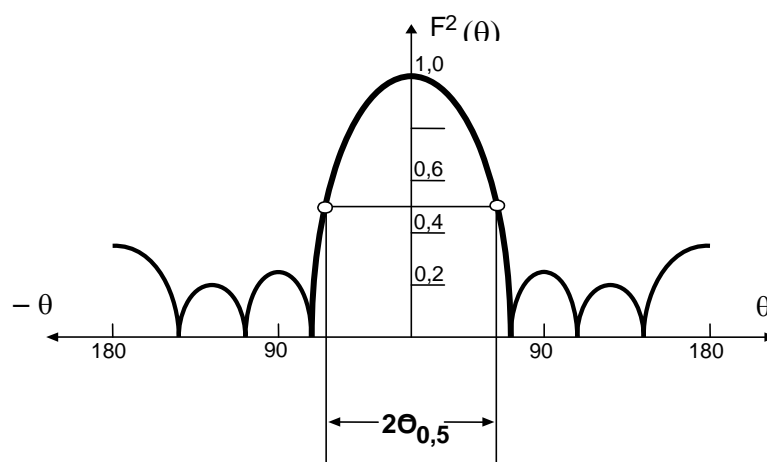


Рис. 2. Нормированная диаграмма направленности антенны РЛС по мощности в вертикальной плоскости в прямоугольной системе координат.

Количественным выражением направленности действия антенны является ширина ее диаграммы направленности, определяемая на уровне половинной мощности ( $2\theta_{0,5}$ ). Ширина диаграммы направленности антенны РЛС гражданской авиации имеет величину от долей до нескольких величин градуса.

Вторым количественным показателем направленности действия антенны служит коэффициент усиления антенны ( $g$ ). Величина коэффициента усиления антенн РЛС гражданской авиации порядка  $10^2 - 10^4$ .

Расчёт плотности потока энергии ( $\Pi\Pi\Pi$ ), ожидаемой в местах строительства РЛС, а также на территориях, прилегающих к действующим РЛС, производится с учётом технико-эксплуатационных характеристик РЛС и топографических особенностей рельефа местности по формуле:

$$\Pi\Pi\Pi(\Pi) = \frac{P_{cp} \cdot g \cdot \Phi_3 \cdot F^2(\theta)}{4 \cdot \pi \cdot r^2}, \text{ Вт/м}^2 \text{ (мкВт/см}^2\text{)}.$$

Здесь  $P_{cp}$  - средняя мощность излучения.  $P_{cp} = P_{И} \cdot \tau_{И} / T_{И}$ , где  $P_{И}$  - импульсная мощность,  $\tau_{И}$  - длительность импульса;  $T_{И}$  - период посылки импульса;

$g$  - коэффициент усиления антенны;

$\Phi_3$  - фактор или множитель земли, зависящий от типа передатчика (для РЛС 1РД-110 и 1РЛ-139 - 1,5; для ОДРЛ всех типов - 1,1; для ДРЛК - 1,2);

$\theta$  - угол между направлением максимального излучения диаграммы направленности и направлением на объект облучения контрольной точки (КТ) (рис. 3).

$\theta = \Delta + \varepsilon_0$ , где  $\varepsilon_0$  - угол места;  $\Delta$  - угол облучения;  $\Delta = \arctg \frac{\bar{h}}{r}$ , где  $\bar{h}$  - превышение  $\bar{h} = h_a + H$ , где  $h_a$  - высота подъёма антенны над уровнем земли, а  $H$  — высота подъёма контрольной точки.

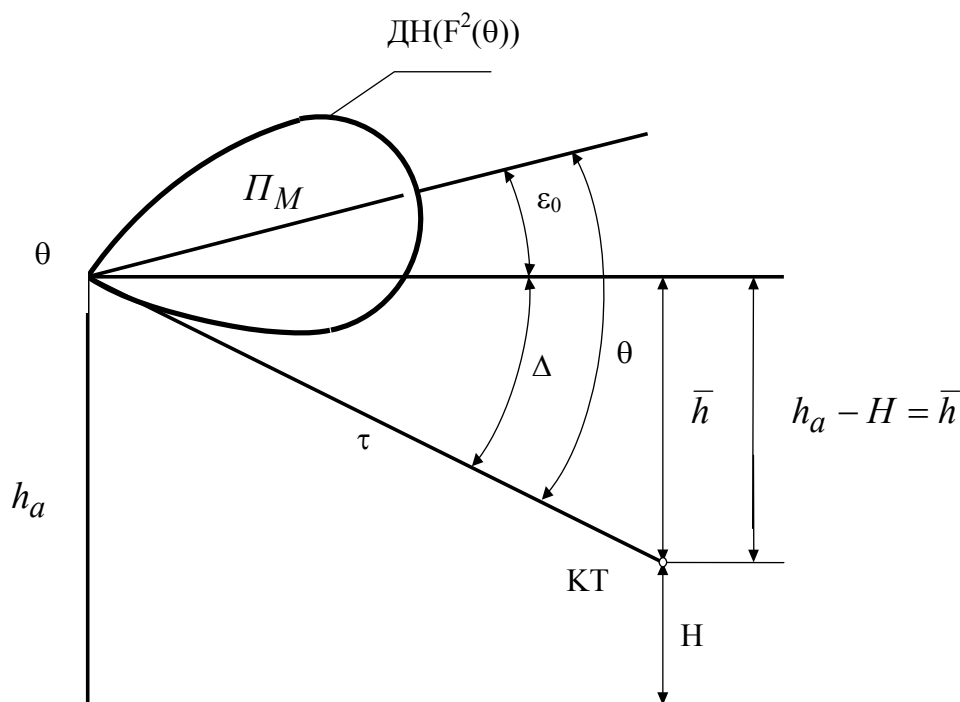


Рис. 3. К расчёту плотности потока энергии

Зная  $\theta$ , по графику  $F^2(\theta / \theta_{0,5})$  нормированной диаграммы направленности по мощности (рис. 4) или по табл. 5 определяется значение  $F^2(\theta / \theta_{0,5})$  и подставляется в формулу для расчета ППЭ для любого значения  $r$  и  $\bar{h}$ .

Зависимость  $F^2(\theta / \theta_{0,5})$ 

$\theta / \theta_{0,5}$	$F^2(\theta / \theta_{0,5})$	$\theta / \theta_{0,5}$	$F^2(\theta / \theta_{0,5})$
0	1	1,8	0,11
0,25	0,96	2,0	$6,3 \cdot 10^{-2}$
0,5	0,84	2,25	$3,05 \cdot 10^{-2}$
0,7	0,72	2,5	$1,32 \cdot 10^{-2}$
1	0,5	2,75	$5,27 \cdot 10^{-3}$
1,1	0,44	3,0	$2,0 \cdot 10^{-3}$
1,2	0,37	3,25	$6,5 \cdot 10^{-4}$
1,4	0,26	3,5	$2,1 \cdot 10^{-4}$
1,6	0,17		

Нормированная диаграмма направленности по мощности ( $F^2(\theta)$ ) может быть построена путём экспериментально снятой зависимости либо приближенно описана (аппроксимирована) посредством кривой Гаусса по формуле:

$$F^2(\theta / \theta_{0,5}) = e^{-0,345 \cdot (\theta / \theta_{0,5})^2},$$

где  $\theta_{0,5}$  - ширина диаграммы направленности на половинном уровне мощности;

$e$  - основание натуральных логарифмов.

Зависимость  $F^2(\theta / \theta_{0,5})$  оформляется в виде таблицы (см. табл. 5) или в виде графика (рис. 4).

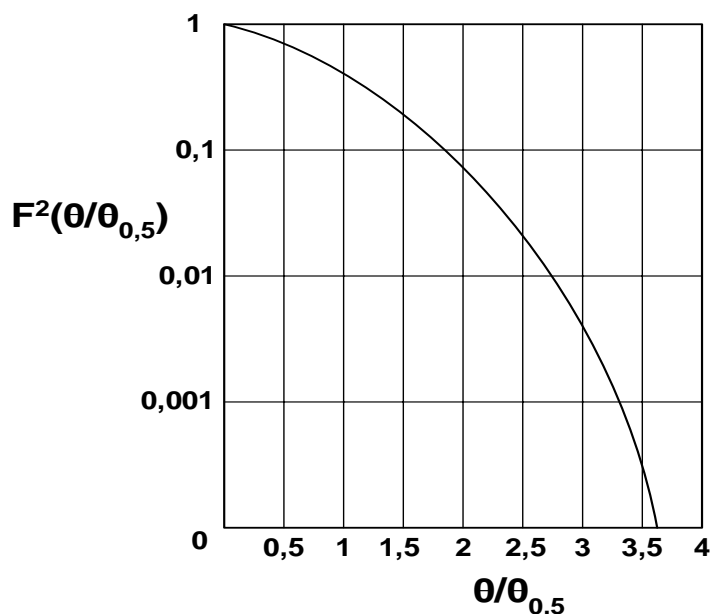


Рис 4. График зависимости  $F^2(\theta/\theta_{0,5})$

В связи с тем, что РЛС и объект облучения (контрольная точка) могут находиться на различных уровнях земли, необходимо учитывать понижение  $h_{ПОН}$  или повышение  $h_{ПОВ}$  расположения контрольной точки по отношению к расположению антенны излучения (рис. 5). Повышение или понижение определяется с помощью теодолитов или других аналогичных приборов.

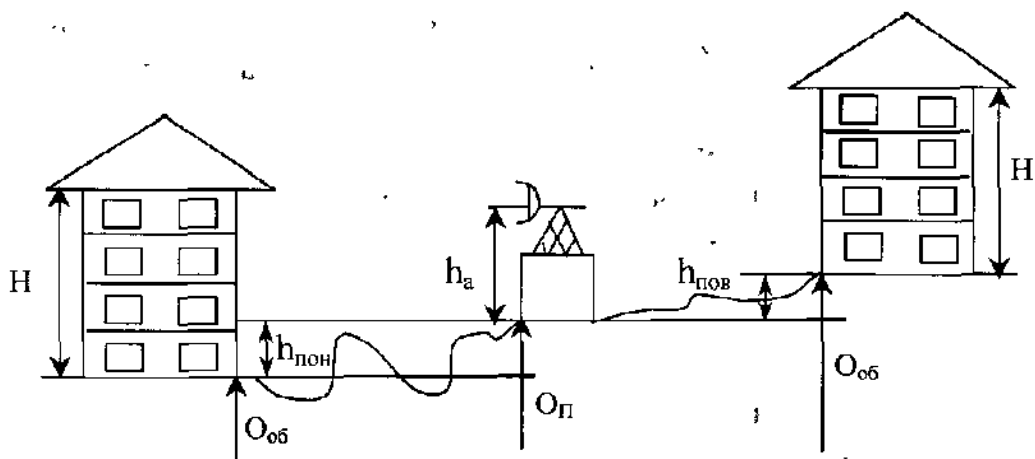


Рис. 5. К расчету превышения:

$$a) \bar{h} = h_a + h_{ПОН} - H; \quad б) \bar{h} = h_a + h_{ПОВ} - H;$$

Для прогнозирования и определения существующей электромагнитной обстановки в районе размещения РЛС могут также использоваться заранее построенные для той или иной РЛС так называемые вертикальные диаграммы излучения (ВДИ).

Они представляют собой совокупность кривых в вертикальной плоскости, каждая из которых имеет постоянное значение ППЭ, построенных в прямоугольной системе координат  $r$  и  $\bar{h}$ .

Кроме кривых равных плотностей, на графике ВДИ наносятся линии максимального излучения антенны по углу места  $\varepsilon_0$  (рис. 6).

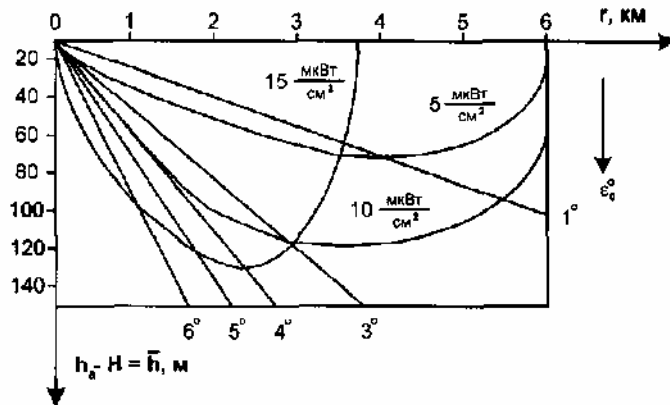


Рис. 6. Вертикальная диаграмма направленности, построенная в координатах  $r$  и  $\bar{h}$  (5, 10, 15 – ППЭ<sub>ПД</sub>, мкВт/см<sup>2</sup>)

Зная расстояние ( $r$ ) до контрольной точки (объекта), превышение  $\bar{h}$ , угол места  $\varepsilon_0$ , по ВДИ можно определить, какой интенсивности электромагнитного облучения подвергаются жители данного района, санитарно-защитную зону объекта излучения (РЛС), необходимое удаление жилой зоны от расположения объекта, а также предельную этажность проектируемой застройки в районе действия РЛС.

На рис. 7 - 12 представлены вертикальные диаграммы излучения, некоторых радиолокаторов гражданской авиации и метеослужбы.

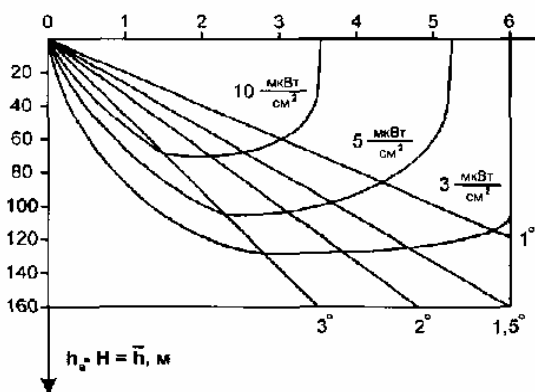


Рис. 7. ВДИ радиолокационного

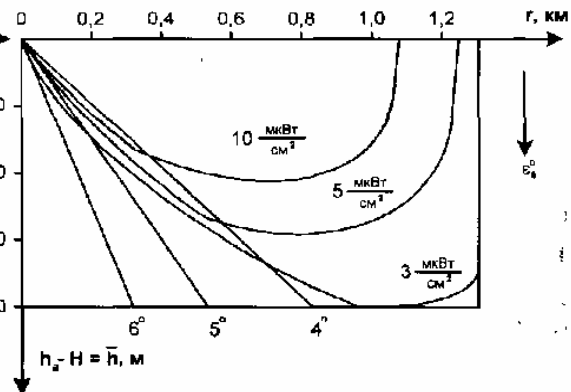


Рис. 8. ВДИ диспетчерского

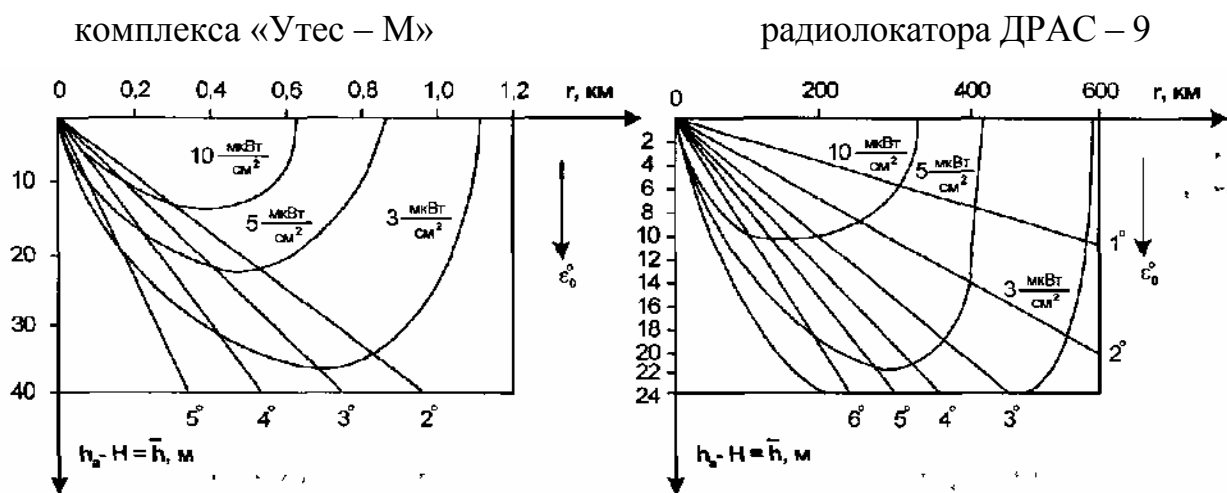


Рис 9. ВДИ диспетчерского радиолокатора ДРАС – А

Рис. 10. ВДИ диспетчерского радиолокатора типа ДРЛ

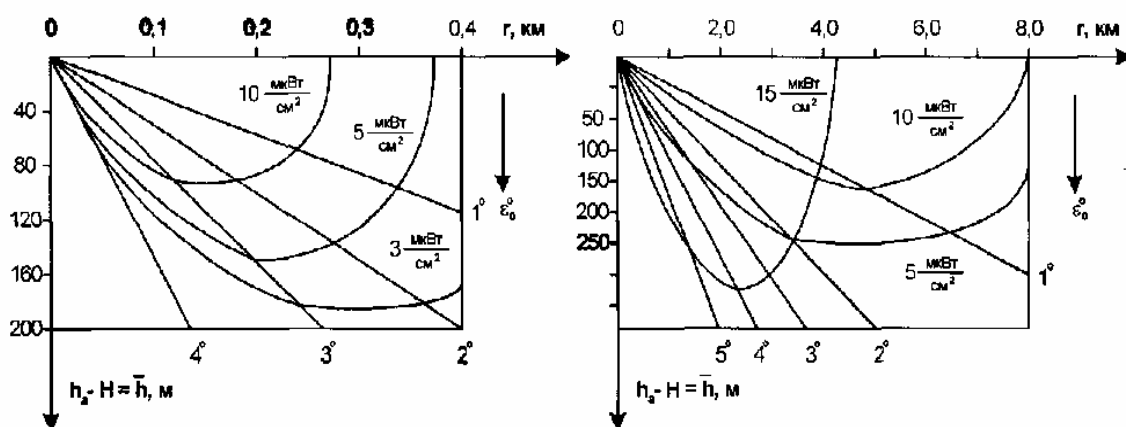


Рис. 11. ВДИ метеорологических комплексов ТРАК – 1.0 («Скала»)

Рис. 12. ВДИ радиолокационных радиолокаторов типа МРЛ-1-2-4

## 2. Способы и средства защиты от электромагнитных полей

### 2. 1. Технические методы и средства, организационные и лечебно-профилактические мероприятия

При выборе защиты персонала или населения от электромагнитных излучений необходимо учитывать особенности производства, условия эксплуатации оборудования, рабочий диапазон частот, характер выполняемых работ, интенсивность поля, продолжительность облучения и др.

Для снижения интенсивности поля в рабочей или жилой зоне рекомендуется применять различные инженерно-технические способы и средства, а также организационные и лечебно-профилактические мероприятия.

В качестве инженерно-технических методов и средств применяются: экранирование излучателей, помещений или рабочих мест; уменьшение напряженности и плотности потока энергии в рабочей или жилой зоне за счет уменьшения мощности источника (если позволяют технические условия) и использование ослабителей (аттенюаторов) мощности и согласованных нагрузок (например, эквивалентов антенн); применение средств индивидуальной защиты.

При экранировании используются такие явления как поглощение электромагнитной энергии материалом экрана и её отражение от поверхности экрана. Поглощение ЭМП обуславливается тепловыми потерями в толще материала за счет индукционных токов и зависит от электромагнитных свойств материала экрана (электрической проводимости, магнитной проницаемости и др.). Отражение обуславливается несоответствием электромагнитных свойств воздуха (или другой среды, в которой распространяется электромагнитная энергия) и материала экрана (главным образом, волновых сопротивлений).

Для изготовления экранов применяют либо тонкие металлические (сталь, алюминий, медь, сплавы) листы, либо металлические сетки, т.к. металлы, являясь хорошими проводниками, реализуют оба явления, используемые при экранировании.

Толщина экрана ( $d$ ) из металлического листа выбирается исходя из соображений механической прочности, но не менее 0,5 мм, и должна быть больше глубины проникновения ЭМ волны в толщу экрана:

$$d \geq r = \frac{1}{\sqrt{\frac{\omega \cdot \mu \cdot \sigma}{2}}} \geq 0,5, \text{ мм};$$

где  $r$  - глубина проникновения поля в проводящую среду и определяется как величина обратная коэффициенту затухания  $r = \frac{1}{\sqrt{\frac{\omega \cdot \mu \cdot \sigma}{2}}}$ . Здесь  $\omega = 2 \pi f$ ;

где  $f$  - частота, Гц;

$\mu$  - магнитная проницаемость материала, Гн/м;

$\sigma$  - электрическая проводимость материала, См.



Большая отражательная способность металлов, обусловленная значительным несоответствием волновых сопротивлений воздуха и металла, в ряде случаев может оказаться нежелательной, т.к. может увеличивать интенсивность поля в рабочей зоне и влиять на режим работы генератора (излучателя). Поэтому в подобных случаях следует применять экраны, преимущественно с малым коэффициентом отражения и большим коэффициентом поглощения. В табл. 6 приведены некоторые радиопоглощающие материалы и их основные характеристики.

Таблица 6

Основные характеристики некоторых радиопоглощающих материалов

Материал	Марка, тип	Диапазон, см	Коэффициент отражения по мощности, %
Поглощающие покрытия на основе поролона	«Болото»	0,8 и более	2-3
Поглощающие пластины на основе древесины	«Луч»	0,3 и более	1 - 3
Текстолит графитированный	369 - 61	1-50	До 50
Краска	НТСООЗМ-003	0,8 - 16	До 50
Резиновые коврики	В2Ф - 2; В2Ф - 3; ВКФ - 4	0,8 – 4,0	2
Магнитодиэлектрические пластины	ХВ - 0,8; ХВ - 20; ХВ - 3,3; ХВ - 4,4; ХВ - 6,2; ХВ - 6,5; ХВ - 10,6	0,8-4,0	2
Ферритовые пластины	СВЧ - 0,68	15-200	3,4
Поглощающий материал	ВТУ-0,8; ВТУ-1 -66	0,8 - 20	3

Требуемое ослабление поля ( $L_{TP}$ ) и эффективность экранирования ( $\mathcal{E}_{ЭКР}$ ) определяются по формулам:

$$L_{TP} = \frac{E_P}{E_{ДОП}} = \frac{H_P}{H_{ДОП}},$$

$$\mathcal{E}_{ЭКР} = \left| \frac{E_2}{E_1} \right|, \quad \mathcal{E}_H = \left| \frac{H_2}{H_1} \right|, \quad \mathcal{E}_H = 10 \lg \frac{P_2}{P_1}, \text{ дБ};$$

где  $E_P, E_{ДОП}, H_P, H_{ДОП}$  - соответственно, напряженность электрического и магнитного поля на рабочем месте (или жилой зоне) и предельно допустимые их значения;

$E_1, E_2, H_1, H_2$  - соответственно, напряженность электрического и магнитного поля после и до экранирования;

$P_1, P_2$  - плотность потока энергии до и после применения экрана.

Металлические экраны за счет отражения и поглощения практически непроницаемы для ЭМ энергии радиочастотного диапазона при их толщине  $d > \lambda$ , где  $\lambda$ , длина волны.

Применение поглощающих нагрузок и аттенуаторов позволяет ослабить интенсивность излучения электромагнитной энергии в окружающее пространство на 60 дБ и более.

Для защиты от ЭМП при работе в антенном поле, проведении испытательных и регулировочных работ на объектах, устранении аварийных ситуаций и ремонте рекомендуется использование индивидуальных средств защиты. Для защиты всего тела применяются комбинезоны, халаты и капюшоны. Их изготавливают из трёх слоев ткани. Внутренний и наружный слои делают из хлопчатобумажной ткани (диагональ, ситец), а средний, защитный слой - из радиотехнической ткани, имеющей проводящую сетку. Для защиты глаз используются специальные радиозащитные очки из стекла, покрытого полупроводниковым оловом. Эффективность таких очков составляет 20- 22 дБ.

Организационные мероприятия включают в себя: требования к персоналу (возраст, медицинское освидетельствование, обучение, инструктаж и т.п.), выбор рационального взаимного размещения в рабочем помещении оборудования, излучающего ЭМ энергию, и рабочих мест; установление рациональных режимов работы оборудования и обслуживающего персонала; ограничение работы оборудования во времени (например, за счёт сокращения времени на проведение наладочных и ремонтных работ); защита расстоянием (удаление рабочего места от источника ЭМП, когда имеется возможность использовать дистанционное управление оборудованием); применение средств предупреждающей сигнализации (световой, звуковой и т.п.) и др.

Лечебно-профилактические мероприятия направлены на предупреждение заболевания, которое может быть вызвано воздействием ЭМП, а также на своевременное лечение работающих при обнаружении заболевания.

Для предупреждения профессиональных заболеваний у лиц, работающих в условиях ЭМП применяются такие меры как предварительный (для поступающих на работу) и периодический (не реже одного раза в год) медицинский контроль за состоянием здоровья, а также ряд мер, способствующих повышению устойчивости организма человека к действию ЭМП.

Медицинский контроль позволяет выявить людей с такими патологическими изменениями в организме, при которых работа в условиях облучения ЭМП противопоказана, и определить необходимость проведения лечения.

К мероприятиям, способствующим повышению резистентности организма к ЭМП, могут быть отнесены регулярные физические упражнения, рационализация времени труда и отдыха, а также использование некоторых лекарственных препаратов и общеукрепляющих витаминных комплексов.

## 2. 2. Электрогерметичные помещения и замкнутые экраны

Для локализации ЭМП внутренних источников применяются электрогерметичные помещения, аппаратные и кабины, представляющие собой замкнутые электромагнитные экраны. В таких помещениях экранируются стены, потолок, пол, оконные и дверные проемы и вентиляционные системы. Такие помещения и кабины могут использоваться и для защиты от внешних полей.

Монтаж экранов в больших помещениях производится прикреплением металлических листов (стальных, дюралюминиевых и т. д.) непосредственно к поверхности помещения. Размеры листов обшивки и их толщина определяются сортаментом проката. Для достижения электромагнитной герметичности рекомендуется листы соединять внахлест, встык или в фалец.

Для достижения высокой эффективности экранирования при  $\lambda \leq 5$  м рекомендуется элементы конструкции экрана сваривать непрерывным швом или применять другие сплошные соединения.

На более низких частотах непрерывная сварка может быть заменена точечной или креплением листов винтами. При этом среднее число контактных точек  $n$  на 1 м длины контакта для обеспечения требуемой эффективности экранирования  $\mathcal{E}$  определяется формулой

$$n = 10,6 \cdot \left( \frac{\mathcal{E}}{\lambda} \right)^{0,25},$$

где  $\lambda$  – длина волны ЭМП, м.

В ряде случаев во избежание отражения энергии, образования стоячих волн, зон, где плотность ЭМ излучения может оказаться больше первоначальной плотности потока энергии, создаваемой источником, стены и другие отражающие конструкции таких помещений должны быть покрыты поглощающими материалами (см. табл. 6). В случае направленного излучения допускается применение поглощающего покрытия только тех стен, на которые направлено излучение.

При защите помещений от внешних излучений применяется оклеивание стен специальными металлизированными обоями, засетчивание окон, использование специальных металлизированных драпировок, штор и т.п. Для изготовления экранных штор, драпировок, чехлов и других защитных изделий, так же как и для изготовления защитной одежды (комбинезонов, халатов, капюшонов и т.п.) применяются радиотехнические ткани.

В качестве экранирующего материала, для световых проемов, приборных панелей, смотровых окон, также как и для защитных очков применяется оптически прозрачное стекло, покрытое полупроводниковой двуокисью олова. Световые проёмы или смотровые окна на более низких частотах могут так же экранироваться металлической сеткой.

При конструировании замкнутых экранов в диапазоне СВЧ иногда возникает необходимость предусматривать в них различного рода отверстия (вентиляционные окна, отверстия для проводов питания, ручек управления и т.п.), которые

не должны нарушать электромагнитную герметичность экрана и снижать его эффективность.

По условиям проникновения электромагнитной энергии СВЧ - диапазона подобные отверстия в экранах могут быть разделены на три основных типа излучателей:

- малые отверстия различной формы (без металлических выводов через них, например, смотровые и вентиляционные окна) представляют собой открытые концы волноводов, через которые излучается энергия СВЧ;
- малые отверстия, через которые проходят провода электропитания или металлические ручки управления можно рассматривать как открытые концы коаксиальных линий, хорошо проводящих СВЧ - энергию;
- щели, продольные размеры которых заведомо больше длины волны (периметр дверей, вентиляционные жалюзи и т.п.), являются щелевыми излучателями.

Для ослабления излучаемой энергии через отверстия различной формы без металлических выводов через них применяются трубки предельных волноводов (по форме отверстия в экране), длины которых определяются в зависимости от необходимой величины ослабления энергии и ослабляющей способности трубки.

Для трубок круглого сечения ослабление на один сантиметр длины рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E}_{KP} = 32/D, \text{ дБ/см};$$

где  $D$  – диаметр трубки, см.

Для трубок прямоугольной формы ослабление на один сантиметр длины рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E}_{\Pi} = 27/d, \text{ дБ/см};$$

где  $d$  – размер стороны квадрата или большей стороны прямоугольника, см.

Коаксиальные отверстия практически беспрепятственно излучают высокочастотную энергию в любом диапазоне. Одним из способов ослабления излучения в коаксиальных выводах является заполнение пространства между центральным и наружным проводниками поглощающим материалом (карбонильным железом, графитом и т.п.).

Излучение высокочастотной энергии через коаксиальные отверстия можно уменьшить также путём применения специальных фильтров, простейшим из которых является фильтр, основанный на соединении встык двух коаксиальных линий с резко отличающимися волновыми сопротивлениями. Одна такая стыковка отрезков кабелей обеспечивает затухание по мощности более 10 дБ.

Ослабления излучения щелевыми излучателями добиваются конструированием специальных четвертьволновых фильтров, представляющих собой канавки глубиной  $\lambda/4$ . Такие фильтры обеспечивают уменьшение проникновения СВЧ - энергии более 10 дБ (недостаток - узкополосность по диапазону).

Более эффективным способом экранирования щелей в широком диапазоне частот является применение поглощающих прокладок по всей ширине щели, либо обеспечение плотного электрического контакта по всему периметру щели.

### **2. 3. Защита при промышленной электротермии**

В высокочастотных установках диэлектрического и индукционного нагрева применяется либо общее экранирование установок, либо экранирование отдельных блоков.

При поблочном экранировании отдельные высокочастотные элементы (конденсаторы, трансформаторы, индукторы и др.) экранируются отдельно.

Экран конденсатора выполняется в виде замкнутой камеры из металлических листов или сетки.

Экран трансформатора представляет собой металлический кожух, который во избежание перегрева устанавливается от наружной поверхности трансформатора на расстоянии не менее одного его радиуса.

Экран плавильного или закалочного индуктора выполняется либо в виде подвижной металлической камеры, опускающейся на время нагрева и поднимающейся после его окончания, либо в виде неподвижной камеры с открывающейся дверью.

В установках диэлектрического нагрева экранированию подлежат пластины рабочего конденсатора и фидеры, подводящие к ним высокочастотную энергию. Экран может выполняться в виде металлической камеры, шкафа, короба и т.п.

Смотровые окна в экранирующих камерах и генераторных устройствах экранируются с помощью мелкоячеистой металлической сетки с плотным контактом по периметру окон.

Линии питания технологических элементов высокочастотной энергии должны быть выполнены коаксиальными кабелями или заключены в металлические экраны.

Экраны должны быть снабжены электроблокировкой, исключающей подачу высокочастотной энергии при открытии экрана.

### **2. 4. Меры защиты от ЭМТТ при работе на радиополигонах и обслуживании радиолокационных станций**

При испытании комплексов РЛС, антенных устройств, обработке элементов СВЧ тракта, проводимых на низких уровнях мощности (от измерительных генераторов), рекомендуется использовать различные типы поглотителей мощности, эквиваленты нагрузок, а также незамкнутые экраны различной формы: щиты, П-образные и эластичные экраны в виде штор, чехлов и т.п. Незамкнутые экраны, как правило, должны иметь поглощающие покрытия.

Для уменьшения утечек энергии из фланцевых сочленений волноводов следует применять прокладки из поглощающих материалов.

Испытания источников излучения на высоком уровне мощности (антенные устройства, комплексы РЛС) должны проводиться на специальных полигонах. При этом зоны излучения с уровнями плотности потока энергии выше допустимых должны быть обозначены предупреждающими знаками.

Расположение зданий и сооружений радиотехнического объекта относительно антенны должно исключать возможность облучения окон и дверей, а также отражения на рабочие места персонала.

Служебные помещения, в которых находится аппаратура и постоянные рабочие места персонала следует размещать под антеннами (эстакадами) или в непосредственной близости от основания насыпи, в пределах "радиотени". При невозможности выполнения этого требования в помещениях, расположенных в зоне излучения, должны экранироваться обращенные к источнику окна и двери, а также деревянные стены и крыши.

Маршруты движения персонала по территории радиотехнического объекта должны быть проложены таким образом, чтобы они не проходили в близости антенн РЛС.

При одновременном испытании на полигоне нескольких станций не допускается излучение одной станции в сторону другой.

При необходимости проведения работ в зоне излучения антенн с интенсивностью выше допустимой должны применяться передвижные защитные экраны и средства индивидуальной защиты (очки и одежда из ткани с микропроводом). Применяемые экраны должны быть снабжены блокировкой, отключающей высокое напряжение при их открывании (снятии), и тщательно заземлены.

## **2. 5. Защита жилой застройки от ЭМП**

При размещении радиотехнических объектов необходимо учитывать возможность коллективной и локальной защиты населения от влияния ЭМ-энергии.

Коллективная защита предназначена для прикрытия группы домов, микрорайонов и целых населенных пунктов. Она включает в себя следующие мероприятия:

- использование лесонасаждений, насыпей, эстакад, возвышенностей и складок местности, создающих «затенение» от ЭМП;
- подъем антенн и диаграмм направленности над жилой территорией;
- устройство отражающих и поглощающих экранов в непосредственной близости от антенн;
- отключение или снижение мощности излучения;
- сокращение времени работы источника на излучение и др.

Для защиты населения от воздействия ЭМ-энергии, излучаемой передающими радиотелевизионными и радиолокационными станциями, между этими объектами и жилой застройкой устанавливаются санитарно – защитные зоны.

Размер санитарно – защитной зоны рассчитывается на стадии проектирования в зависимости от назначения объекта, рабочей частоты, мощности передатчика, типа и высоты установки антенны, а также рельефом местности. После ввода в эксплуатацию объекта результаты расчета необходимо сравнивать с данными, полученными измерениями.

Санитарно – защитная зона для телецентров, телевизионных ретрансляторов, РЛС кругового обзора и других объектов направленного действия устанавливается по радиусу, т. е. по кругу.

В целях рационального использования территории санитарной защитной зоны она представляется на зону «строгого режима» и зону «ограничения».

Зона «строгого режима» включает техническую территорию объекта и часть прилегающей территории. На внешней границе этой зоны уровень ЭМ-энергии должен быть в пределах санитарной нормы для производственных условий. Если зона «строгого режима» превышает пределы территории, она ограждается предупреждающими знаками, например, «запретная зона».

Зона «ограничения» непосредственно примыкает к зоне «строгого режима». На ее внешней границе уровень ЭМ-энергии должен быть в пределах санитарных норм для населенных мест.

Важнейшим направлением защиты населения крупных жилых районов и городов является вынос мощных радиотехнических объектов за их пределы.

Локальная защита предназначена для защиты отдельных домов, квартир, помещений путем использования экранирующих приспособлений; металлизированных обоев, оконных стекол, штор драпировок и т.п.

### 3. Примеры решения задач

**Задача № 1.** Оцените с точки зрения условий труда уровень электромагнитных излучений частотой 460 МГц, если плотность потока энергии (ППЭ) измеренная на рабочем месте регулировщика радиоаппаратуры, равна  $0,3 \text{ Вт/м}^2$ , а время, в течение которого регулировщик подвергается облучению, составляет за смену 4 ч.

**Решение.** Оценка уровня ППЭ электромагнитного поля, воздействующего на регулировщика во время работы, осуществляется его сравнением с предельно допустимым уровнем  $ППЭ_{ПД}$ , который определяется по формуле

$$ППЭ_{ПД} = K \frac{ЭН_{ППЭ_{ПД}}}{T},$$

где  $ЭН_{ППЭ_{ПД}}$  - предельно допустимая величина энергетической нагрузки, равная  $2 \text{ Вт}\cdot\text{ч/м}^2$  ( $200 \text{ мкВт}\cdot\text{ч/см}^2$ );

$K$  - коэффициент ослабления биологической эффективности, равный 1 для всех случаев воздействия, исключая облучение от вращающихся и сканирующих антенн; 10 - для случаев облучения от вращающихся и сканирующих антенн с частотой вращения или сканирования не более 1 Гц и скважностью не менее 50. В данном случае выбираем  $K = 1$ ;

$T$  - время пребывания персонала в зоне облучения за рабочую смену, ч.

В данном случае  $T = 4$  ч.

Подставляем известные данные в формулу для расчета  $ППЭ_{ПД}$ , после чего получаем:

$$ППЭ_{ПД} = 1 \frac{2}{4} = 0,5 \text{ Вт/м}^2.$$

Теперь, сравнивая уровень измеренной ППЭ на рабочем месте с  $ППЭ_{ПД}$  (0,3 и 0,5 Вт/м<sup>2</sup>), делаем вывод о том, что работа регулировщика в данных условиях, с точки зрения вредности электромагнитных полей, допустима.

**Задача № 2.** Обосновать необходимость применения экранирования и определить эффективность экрана нагревательного элемента высокочастотной закалочной установки, работающей в диапазоне частот до 120 кГц. Измеренное максимальное значение напряженности поля  $H$  на рабочем месте 12,5 А/м, а продолжительность работы 5 ч.

**Решение.** Для ответа на вопросы задачи нужно знать допустимое значение  $H_{ПД}$  для указанной частоты и затем, сравнивая его с уровнем  $H$  на рабочем месте, можно увидеть, необходимы ли меры защиты, в частности экранирование, и в случае необходимости – определить их эффективность.

Согласно санитарным нормам

$$H_{ПД} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}H_{ПД}}{T}}, \text{ А/м,}$$

где  $\mathcal{E}H_{ПД}$  – предельно допустимое значение энергетической нагрузки в течение рабочего дня, (А/м)<sup>2</sup>·ч. Для данного диапазона частот  $\mathcal{E}H_{ПД} = 200$  (А/м)<sup>2</sup>·ч.

$T$  – время воздействия, ч (по условиям задачи 5 ч).

Подставляя в формулу эти данные, получаем:

$$H_{ПД} = \sqrt{\frac{200}{5}} = \sqrt{40} \approx 6,5 \text{ А/м.}$$

По условия задачи  $H$  на рабочем месте равно 12,5 А/м, что говорит о необходимости применения экранирования.

$$\mathcal{E}_{ЭКР} \geq \frac{H_{ФАК}}{H_{ПД}} = \frac{12,5}{6,5} \approx 2 \text{ раза.}$$

**Задача № 3.** Диспетчерский радиолокатор ДРАС - А аэропорта «М» находится, вблизи жилой застройки с понижением по уровню местности на 4 м (см. 13). Высота застройки не более 4 этажей (10 м). Антенна РЛС поднята на высоту 24 м и работает при минимальном угле места 3°. Определить радиус зоны «строгого режима», приняв ПДУ для персонала равным 20 мкВт/см<sup>2</sup>.

$$h = h_a + h_{ПОН} - H = 24 + 4 - 10 = 18 \text{ м}$$



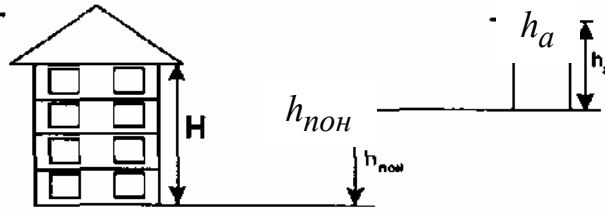


Рис. 13. Для данных условий

**Решение.** Радиус зоны «строгого режима» будет равен максимальному расстоянию от РЛС на которой плотность потока энергии будет не менее  $20 \text{ мкВт/см}^2$  (согласно условию задачи). Это расстояние можно определить по ранее построенной для этого локатора вертикальной диаграмме излучения (см. рис. 13). Однако для этого необходимо определить превышение ( $\bar{h} = h_a - H$ ).

Для данных условий  $\bar{h} = h_a + h_{\text{ПОН}} - H = 24 + 4 - 10 = 18 \text{ м}$ .

Зная превышение, равное 18 м, и угол места ( $\varepsilon$ ), равный по условиям задачи  $3^\circ$ , определяем по ВДИ ДРАС-А радиус зоны «строгого режима», равный приблизительно 0,8 км.

**Задача № 4.** Оценить условия труда регулировщика радиоаппаратуры по электромагнитному фактору, если известно, что в своей работе он использует генератор СВЧ ( $\lambda = 3 \text{ см}$ ) и ПЭВМ. Измеренные значения излучаемой мощности открытого выхода на расстоянии 30 см составляет 0,2 Вт, а напряженность электрической составляющей от строчного генератора дисплея ( $f = 32 \text{ кГц}$ ) равна 40 В/м. Суммарная продолжительность пребывания регулировщика за работой в течение рабочего дня не превышает 6 ч.

**Решение.** Так как по условиям задачи регулировщик подвергается облучению ЭМП с различными нормируемыми параметрами (т. к. различные диапазоны частот), то его безопасность, согласно СанПиН №11-17-94, следует определять по критерию

$$\frac{\text{ЭН}_{\text{ППЭ}}}{\text{ЭН}_{\text{ППЭ}_{\text{ПД}}}} + \frac{\text{ЭН}_E}{\text{ЭН}_{E_{\text{ПД}}}} \leq 1$$

$\text{ЭН}_{\text{ППЭ}}$  можно определить из формул

$$\text{ППЭ} = K \frac{\text{ЭН}_{\text{ППЭ}}}{T}, \quad \text{ЭН}_{\text{ППЭ}} = \frac{\text{ППЭ} \cdot T}{K},$$

где  $K$  – коэффициент биологического ослабления, в данном случае равный 1.

Плотность потока энергии на рабочем месте можно определить приблизительно по формуле

$$\text{ППЭ} \approx \frac{P_{\text{изл}}}{4 \cdot \pi \cdot r^2},$$

где  $P_{изл}$  – мощность, излучаемая на расстоянии 30 см от генератора (по условиям задачи 0,3 Вт);

$r$  – расстояние (равное 30 см).

Подставив эти данные в формулу для определения  $ППЭ$ , получим:

$$ППЭ = \frac{0,2}{6,28 \cdot 0,3^2} \approx 0,4 \text{ Вт/м}^2.$$

Полученное значение  $ППЭ$  подставим в формулу для расчета  $ЭН_{ППЭ}$ :

$$ЭН_{ППЭ} = \frac{0,4 \cdot 6}{1} = 2,4 \text{ Вт} \cdot \text{ч/м}^2.$$

Согласно СанПиН № 11-17-94  $ЭН_{ППЭ_{пд}}$  устанавливается равной 2 Вт·ч/м<sup>2</sup>.  
Теперь определим искомое отношение:

$$\frac{ЭН_{ППЭ}}{ЭН_{ППЭ_{пд}}} = \frac{2,4}{2,0} = 1,2$$

Для определения энергетической нагрузки по электрической составляющей поля ( $ЭН_E$ ) воспользуемся формулой для расчета  $E$ :

$$E = \sqrt{\frac{ЭН}{T}}$$

Отсюда

$$ЭН_E = E^2 \cdot T \text{ (В/м)}^2 \cdot \text{ч}.$$

По условиям задачи измеренная напряженность от дисплея на рабочем месте регулировщика (30 см) равна 40 В/м.

Подставив это значение в предыдущее выражение, получим:

$$ЭН_E = 40^2 \cdot 6 = 9600 \text{ (В/м)}^2 \cdot \text{ч}.$$

Предельно допустимое значение энергетической нагрузки для указанного в условиях задачи диапазона, согласно СанПиН №11-17-94 равно, 20000 (В/м)<sup>2</sup>·ч.

Теперь можно определить второе отношение критерия безопасности:

$$\frac{ЭН_E}{ЭН_{E_{пд}}} = \frac{9600}{20000} = 0,48$$

Таким образом, общий критерий безопасности равен:

$$\frac{ЭН_{ППЭ}}{ЭН_{ППЭ_{пд}}} + \frac{ЭН_E}{ЭН_{E_{пд}}} = 1,2 + 0,48 = 1,68$$

что не удовлетворяет условиям безопасности  $\leq 1$ .

#### 4. Индивидуальные задания для практических занятий

##### Вариант № 1

**1.1.** Оценивать с точки зрения условий труда электромагнитных излучений частотой 360 МГц, если плотность потока энергии (ППЭ), измеренная на рабочем месте регулировщика радиоаппаратуры, равна  $0,8 \text{ Вт/м}^2$ , а время, в течение которого регулировщик подвергается облучению, составляет за смену 4 ч.

**1.2.** Обосновать необходимость применения экранирования и определить эффективность экрана нагревательного элемента высокочастотной закалочной установки, работающей в диапазоне частот до 180 кГц. Измеренное максимальное значение напряженности магнитного поля  $H$  на рабочем месте  $12,5 \text{ А/м}$ , а продолжительность работы 6 ч.

**1.3.** Диспетчерский радиолокатор ДРЛ-А аэропорта «М» находится вблизи жилой застройки с понижением по уровню местности на 4 м. высота застройки не более 4 этажей (10 м). Антенна РЛС поднята на высоту 24 м и  $h_a$  гает при минимальном угле места  $2^\circ$ . Определить радиус зоны «строгого  $h_{\text{пони}}$ », приняв ПДУ для персонала равным  $8 \text{ мкВт/см}^2$ .

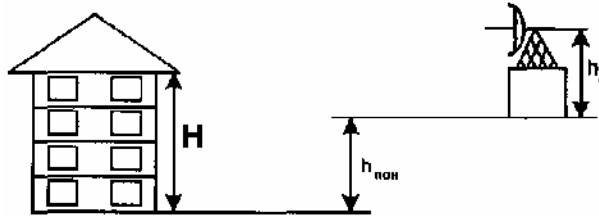


Рис. 14. К варианту № 1

##### Вариант № 2

**2.1.** определить уровень электромагнитных излучений на рабочем месте оператора ПЭВМ при суммарной продолжительности его работы не менее 5 ч за смену, если суммарная напряженность электрической составляющей поля от строчного генератора ( $f=31 \text{ кГц}$ ) на расстоянии 30 см от экрана дисплея составила  $140 \text{ В/м}$ . Сделать вывод о необходимости принятия мер защиты или о ее отсутствии.

**2.2.** Определить необходимую толщину защитного экрана для снижения уровня электромагнитной энергии до допустимого (с точки зрения безопасности) значения, если длина волны ЭМП равна 3 см, а материал экрана алюминий ( $\sigma=3,54 \cdot 10^7 \text{ Ом}\cdot\text{м}^{-1}$ ;  $\mu=4 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ ).

**2.3.** Осуществить гигиеническую оценку электромагнитного поля в жилой зоне на расстоянии 800 м от метеорологического радиолокатора МРЛ-4, средняя мощность излучения которого  $110 \text{ Вт}$ , коэффициент усиления антенны  $0,6 \cdot 10^4$ , ширина диаграмма направленности по мощности в вертикальной плоскости  $1,5^\circ$ ,

коэффициент, учитывающий влияние земли, 0,8. Жилая зона на указанном расстоянии имеет повышение примерно 2 м. Высота застройки не менее 5 этажей (12,5 м). Антенна РЛС поднята на высоту 18 м. Радиолокатор может работать при минимальном угле места  $0,5^\circ$ .

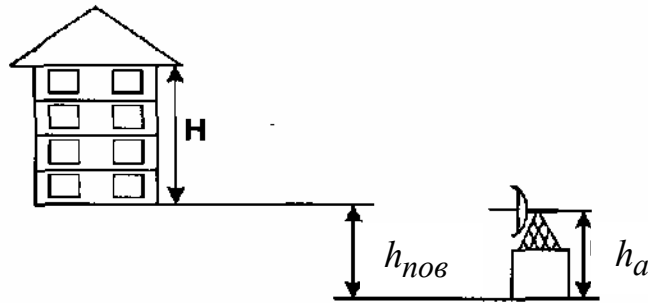


Рис. 15. К варианту № 2

### Вариант № 3

**3.1.** Оценить условия труда регулировщика радиоаппаратуры по электромагнитному фактору, если известно, что в своей работе он использует генератор СВЧ ( $\lambda = 3$  см) и ПЭВМ. Измеренные значения излучаемой мощности открытого выхода на расстоянии 50 см составляют 0,8 Вт, а напряженность электрической составляющей от строчного генератора дисплея ( $f = 32$  кГц) равна 80 В/м. Суммарная продолжительность пребывания регулировщика за работой в течение рабочего дня не превышает 4 ч.

**3.2.** С какой эффективностью (в децибелах) необходимо применить экран для защиты от электромагнитных излучений при облучении персонала в течение 8-часового рабочего дня на расстоянии 3 м от источника мощностью 0,5 кВт

( $\lambda = 8$  см). Диаграмма направленности излучения круговая.

**3.3.** Метеорологический радиолокатор МРЛ-2 находится вблизи населенного пункта с понижением по уровню местности относительно места установки РЛС на 2,5 м. Высота застройки не более 5 этажей (13 м). Антенна РЛС поднята на высоту 10 м. Локатор работает при минимальном угле места равном  $0^\circ$ . Оценить электромагнитную обстановку в жилой зоне, расположенной на расстоянии от источника ЭМП, равном 700 м, если импульсная мощность МРЛ-2 равна 180 Вт, длительность импульса 12 мкс, период посылки импульсов 18 мкс, коэффициент усиления антенны  $5 \cdot 10^3$ , коэффициент земли 0,9, а ширина диаграммы направленности антенны в вертикальной плоскости  $1,8^\circ$ .

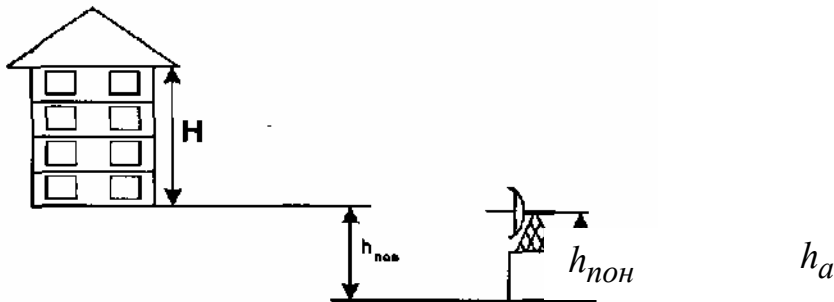


Рис. 16. К варианту № 3

### Вариант № 4

**4.1.** Обосновать необходимость применения экранирования и определить эффективность экрана нагревательного элемента высокочастотной закалочной установки, работающей в диапазоне частот до 120 кГц. Измеренное максимальное значение напряженности магнитного поля  $H$  на рабочем месте 13,5 А/м, а продолжительность работы 6 ч.

**4.2.** Определить максимально допустимое время, в течение которого может работать персонал в условиях электромагнитного поля СВЧ-диапазона, если известно, что допустимая плотность потока энергии составляет 0,8 Вт/м от вращающейся антенны.

**4.3.** Обзорный радиолокатор ДРЛ аэропорта «А» расположен с понижением по уровню местности относительно прилегающей жилой застройки на 2,5 м. Высота жилых домов не превышает 9 этажей (25 м). Антенна РЛС поднята на высоту 11 м и может работать при минимальном угле места, равном  $0,8^\circ$ . Определить радиус санитарно-защитной зоны, приняв ПДУ для населения, равным  $15 \text{ мкВт/см}^2$ .

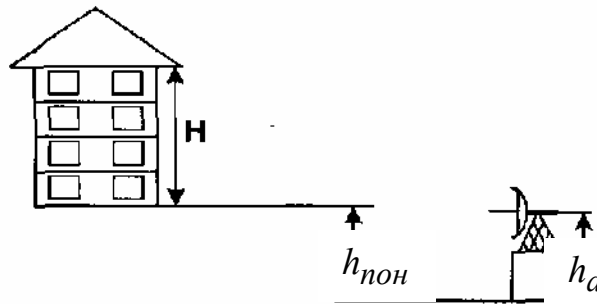


Рис. 17. К варианту № 4

### Вариант № 5

**5.1.** На каком расстоянии от сканирующей антенны радиолокационной станции (РЛС) может находиться персонал в течение всего рабочего дня (6 ч), не подвергая свое здоровье опасности, если мощность РЛС равна 1,25 кВт.

**5.2.** Оцените с точки зрения условий труда уровень электромагнитных излучений частотой 460 МГц, если плотность потока энергии (ППЭ), измеренная на рабочем месте регулировщика радиоаппаратуры, равна  $0,8 \text{ Вт/м}^2$ , а время, в течение которого регулировщик подвергается облучению, составляет за смену 5 ч.

**5.3.** Определить максимальный размер зоны «строгого режима» санитарно-защитной зоны радиолокационного комплекса «Скала», антенна которого установлена на эстакаде высотой 15 м и может работать при минимальном угле места, равном  $2^\circ$ . Прилегающая к комплексу жилая территория находится на расстоянии 900 м и имеет повышение по местности не более 0,5 м. Высота наиболее высоких жилых зданий не превышает 9 м.

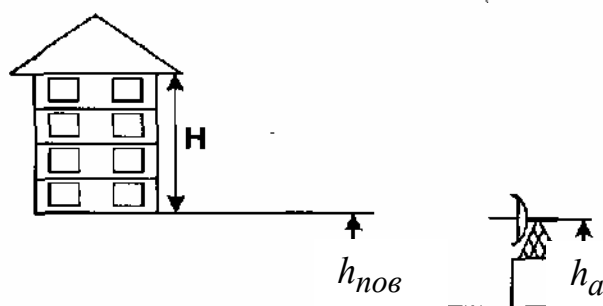


Рис. 18. К варианту № 5

### Вариант № 6

**6.1.** Оценить уровень электромагнитного излучения на рабочем месте регулировщика аппаратуры от генератора мощностью 50 Вт, работающего в диапазоне частот 490 МГц, с точки зрения необходимости разработки мероприятий по защите персонала, если рабочее место удалено от источника излучения на расстояние 1 м, а продолжительность пребывания персонала в условиях облучения за смену не превышает 7 ч.

**6.2.** Оценить уровень электромагнитных излучений на рабочем месте оператора ПЭВМ при суммарной продолжительности его работы не менее 5 ч за смену, если суммарная напряженность электрической составляющей поля от строчного генератора ( $f = 30$  кГц) на расстоянии 50 см от экрана дисплея составила 190 В/м. Сделать вывод о необходимости принятия мер защиты.

**6.3.** Обзорная радиолокационная станция типа «Сатурн» мощностью 130 кВт работает в импульсном режиме (длительность импульса 6 мкс, период посылки импульсов 8 мкс). Антенна «Сатурна» поднята на высоту 16 м и имеет коэффициент усиления  $5 \cdot 10^3$ , ширина диаграммы направленности равна  $2^\circ$ . Антенна работает с минимальным углом места, равным  $1^\circ$ . Рассчитать ожидаемую ППЭ в строящемся жилом микрорайоне, расположенном примерно в 1,5 км от РЛС и имеющем понижение по местности 5 м, а высоту предполагаемой застройки не выше 10 м. Коэффициент трассы принять равным 0,8.

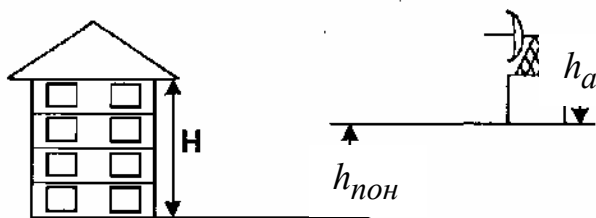


Рис. 19. К варианту № 6

### Вариант № 7

**7.1.** Определить необходимую длину трубки круглого сечения, используемой в качестве ослабителя СВЧ-энергии (предельного волновода), излучаемой через отверстие круглого сечения диаметром 4 см в замкнутом экране, если известно, что ее эффективность должна быть не хуже 10 дБ.

**7.2.** Оценить условия труда регулировщика радиоаппаратуры, если известно, что в своей работе он использует генератор СВЧ ( $\lambda = 8$  см) и ПЭВМ. Измеренное значение излучаемой мощности открытого выхода на расстоянии 30 см составляет 0,3 Вт, а напряженность электрической составляющей от строчного генератора дисплея ( $f = 32$  кГц) равна 80 В/м. Суммарная продолжительность пребывания регулировщика за работой в течение рабочего дня не превышает 6ч.

**7.3.** Произвести гигиеническую оценку условий быта по электромагнитному фактору жителей 5-этажного дома (13 м), расположенного на расстоянии 900 м от радиолокационного комплекса гражданской авиации средней мощности 25 кВт (рис.20), антенна которого установлена на высоте 18 м и может работать при минимальном угле места  $1,0^\circ$ . Коэффициент усиления антенны комплекса  $4 \cdot 10^2$ , ширина диаграммы направленности вертикальной плоскости  $2,5^\circ$ . Коэффициент, учитывающий влияние трассы, принять равным 1.

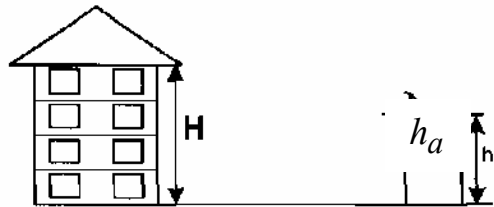


Рис. 20. К варианту № 7

### Вариант № 8

**8.1.** Какая длина трубки прямоугольного сечения обеспечит необходимое снижение излучаемой через отверстие в экране СВЧ-энергии, если известно, что плотность потока энергии, излучаемой квадратным отверстием (длина стороны 3 см) в кожухе генератора и измеренная на рабочем месте, равна  $66,0$  мкВт/см<sup>2</sup>, продолжительность облучения персонала в течение рабочей смены не более 7ч.

**8.2.** Обосновать необходимость применения экранирования и определить эффективность экрана нагревательного элемента высокочастотной закалочной установки, работающей в диапазоне частот до 80 кГц. Измеренное максимальное значение напряженности магнитного поля  $H$  на рабочем месте  $10,5$  А/м, а продолжительность работы 6 ч.

**8.3.** Определить наименьший размер зоны «ограничения» санитарно-защитной зоны радиолокационного комплекса «Утес-М» кругового обзора, расположенного вблизи жилой зоны с понижением по уровню местности на 2,5 м. Максимальная высота жилых домов не превышает 3 этажей (9 м). Антенна комплекса поднята на высоту 10,5 м и может работать при угле места, равном  $0,5^\circ$  (рис. 21). Принять ПДУ для населения равным  $10$  мкВт/см<sup>2</sup>.



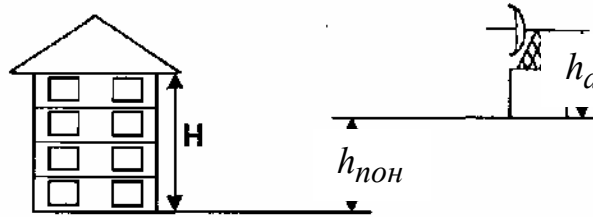


Рис. 21. К варианту № 8

### Вариант № 9

**9.1.** Оценить уровень электромагнитных излучений на рабочем месте оператора ПЭВМ при суммарной продолжительности его работы не менее 5 ч за смену, если суммарная напряженность электрической составляющей поля от строчного генератора ( $f = 30$  кГц) на расстоянии 30 см от экрана дисплея составила 90 В/м. Сделать вывод о необходимости принятия мер защиты.

**9.2.** Обосновать необходимость применения экранирования и определить эффективность экрана нагревательного элемента высокочастотной закалочной установки, работающей в диапазоне частот до 220 кГц. Измеренное максимальное значение напряженности магнитного поля  $H$  на рабочем месте 8,5 А/м, а продолжительность работы 6 ч.

**9.3.** Осуществить гигиеническую оценку электромагнитного поля в жилой зоне на расстоянии 1000 м от метеорологического радиолокатора МРЛ-4, средняя мощность излучения которого 120 Вт, коэффициент усиления антенны  $0,6 \cdot 10^3$ , ширина диаграммы направленности по мощности в вертикальной плоскости  $1,5^\circ$ , коэффициент, учитывающий влияние земли, 0,8. Жилая зона на указанном расстоянии имеет повышение примерно 2,5 м. Высота застройки не менее 5 этажей (12,5 м). Антенна РЛС поднята на высоту 17 м. Радиолокатор может работать при минимальном угле места  $0,5^\circ$ .

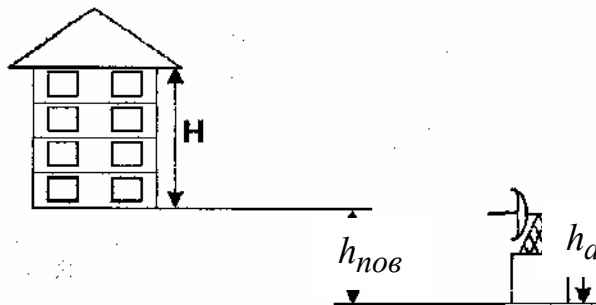


Рис. 22. К варианту № 9

### Вариант № 10

**10.1.** Оценить условия труда регулировщика радиоаппаратуры по электромагнитному фактору, если известно, что в своей работе он использует генератор СВЧ ( $\lambda = 3$  см) и ПЭВМ. Измеренные значения излучаемой мощности открытого выхода на расстоянии 30 см составляют 0,7 Вт, а напряженность электрической составляющей от строчного генератора дисплея ( $f = 32$  кГц) равна 70

В/м. Суммарная продолжительность пребывания регулировщика за работой в течение рабочего дня не превышает 6 ч.

**10.2.** Определить необходимую толщину защитного экрана для снижения уровня электромагнитной энергии до допустимого (с точки зрения безопасности) значения, если длина волны ЭМП равна 8 см, а материал экрана алюминий ( $\sigma = 3,54 \cdot 10^7 \text{ Ом} \cdot \text{м}^{-1}$ ;  $\mu = 4 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ ).

**10.3.** Метеорологический радиолокатор МРЛ-2 находится вблизи населенного пункта с повышением по уровню местности на 2,5 м. Высота застройки не более 5 этажей (13 м). Антенна РЛС поднята на высоту 10 м. Локатор работает при минимальном угле наклона, равном 0,5. Оценить электромагнитную обстановку в жилой зоне, расположенной на расстоянии от источника ЭМП, равном 800 м, если импульсная мощность МРЛ-2 равна 190 Вт, длительность импульса 12 мкс, период посылки импульсов 18 мкс, коэффициент усиления антенны  $5 \cdot 10^3$ , коэффициент земли 1,0, а ширина диаграммы направленности антенны в вертикальной плоскости  $2^\circ$ .

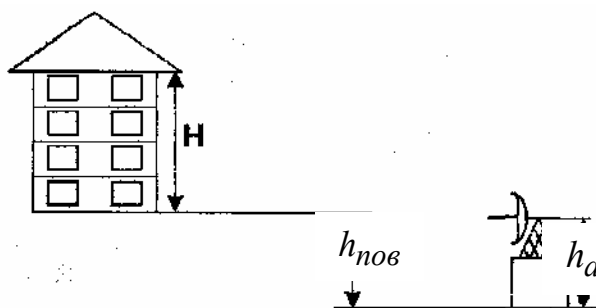


Рис. 23. К варианту № 10

### Вариант № 11

**11.1.** Обосновать необходимость применения экранирования и определить эффективность экрана нагревательного элемента высокочастотной закладной установки, работающей в диапазоне частот до 180 кГц. Измеренное максимальное значение напряженности магнитного поля  $H$  на рабочем месте 14,5 А/м, а продолжительность работы 6 ч.

**11.2.** С какой эффективностью (в дБ) необходимо применить экран для защиты от электромагнитных излучений при облучении персонала в течение 8-часового рабочего дня на расстоянии 3 м от источника мощностью 0,8 кВт ( $\lambda = 8 \text{ см}$ ). Диаграмма направленности излучения - круговая.

**11.3.** Обзорный радиолокатор ДРЛ аэропорта «А» расположен с повышением по уровню местности относительно прилегающей жилой застройки на 2,5 м. Высота жилых домов не превышает 9 этажей (25 м). Антенна РЛС поднята на высоту 12 м и может работать при минимальном угле места, равном  $0,5^\circ$ . Определить радиус санитарно-защитной зоны, приняв ПДУ для населения равным  $15 \text{ мкВт/см}^2$ .

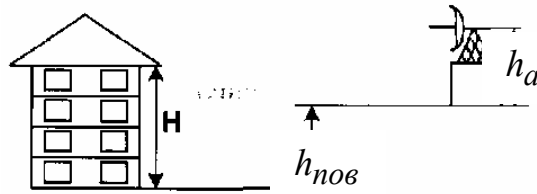


Рис. 24. К варианту № 11

### Вариант № 12

**12.1.** Оценить с точки зрения условий труда уровень электромагнитных излучений частотой 480 МГц, если плотность потока энергии (ГШЭ), измеренная на рабочем месте регулировщика радиоаппаратуры, равна  $0,9 \text{ Вт/м}^2$ , а время, в течение которого регулировщик подвергается облучению, составляет за смену 6 ч.

**12.2.** Оценить уровень электромагнитного излучения на рабочем месте регулировщика аппаратуры от генератора мощностью 50 Вт, работающего в диапазоне частот 500-510 МГц, с точки зрения необходимости разработки мероприятий по защите персонала, если рабочее место удалено от источника излучения на расстояние 0,5 м, а продолжительность пребывания персонала в условиях облучения за смену не превышает 6 ч.

**12.3.** Определить максимальный размер зоны «строгого режима» санитарно-защитной зоны радиолокационного комплекса «Скала», антенна которого установлена на эстакаде высотой 10 м и может работать при минимальном угле места, равном  $0,5^\circ$ . Прилегающая к комплексу жилая территория находится на расстоянии 500 м и имеет повышение по местности не более 0,5 м. Высота наиболее высоких жилых зданий не превышает 10 м.

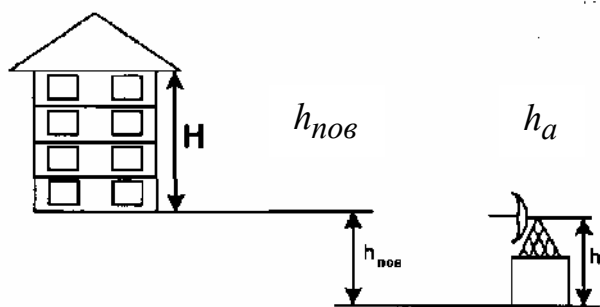


Рис. 25. К варианту № 12

### Вариант № 13

**13.1.** Оценить уровень электромагнитных излучений на рабочем месте оператора ПЭВМ при суммарной продолжительности его работы не менее 5 ч за смену, если суммарная напряженность электрической составляющей поля от строч-

ного генератора ( $f = 31$  кГц) на расстоянии 30 см от экрана дисплея составила 80 В/м. Сделать вывод о необходимости принятия мер защиты.

**13.2.** Определить необходимую длину трубки круглого сечения, используемой в качестве ослабителя СВЧ-энергии (предельного волновода), излучаемой через отверстие круглого сечения, диаметром 3 см в замкнутом экране, если известно, что ее эффективность должна быть не хуже 15 дБ.

**13.3.** Обзорная радиолокационная станция типа «Сатурн» мощностью 180 кВт работает в импульсном режиме (длительность импульса 6 мкс, период посылки импульсов 8 мкс). Антенна «Сатурна» на высоту 14 м и имеет коэффициент усиления  $3 \cdot 10^4$ , ширина диаграммы направленности равна  $2^\circ$ . Антенна работает с минимальным углом  $0,5^\circ$ . Рассчитать ожидаемую ППЭ в строящемся жилом микрорайоне  $h_{\text{пон}}$  расположенном примерно в 1,5 км от РЛС и имеющем понижение по местности 6 м, а высоту предполагаемой застройки не выше 10 м. Коэффициент трассы принять равным 1.

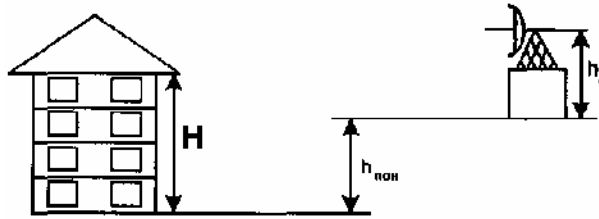


Рис. 26. К варианту № 13

### Вариант № 14

**14.1.** Оценить условия труда регулировщика радиоаппаратуры, если известно, что в своей работе он использует генератор СВЧ ( $\lambda = 7$  см) и ПЭВМ. Измеренное значение излучаемой мощности открытого выхода на расстоянии 30 см составляет 0,8 Вт, а напряженность электрической составляющей от строчного генератора дисплея ( $f = 32$  кГц) равна 60 В/м. Суммарная продолжительность пребывания регулировщика за работой в течение рабочего дня не превышает 6 ч.

**14.2.** Какая длина трубки прямоугольного сечения обеспечит необходимое снижение излучаемой через отверстие в экране СВЧ-энергии, если известно, что плотность потока энергии, которую излучает квадратное отверстие (длина стороны 2 см) в кожухе генератора, измеренная на рабочем месте, равна  $50 \text{ мкВт/см}^2$ , продолжительность облучения персонала в течение рабочей смены не более 6 ч.

**14.3.** Произвести гигиеническую оценку по электромагнитному фактору условий быта жителей 5-этажного дома (13 м), расположенного на расстоянии

800 м от радиолокационного комплекса гражданской авиации средней мощности 20 кВт, антенна которого установлена на высоте 15 м и может работать при минимальном угле места  $1,8^\circ$ . Коэффициент усиления антенны комплекса  $2 \cdot 10^4$ , ширина диаграммы направленности в вертикальной плоскости  $2,0^\circ$ . Коэффициент, учитывающий влияние трассы, принять равным 1.

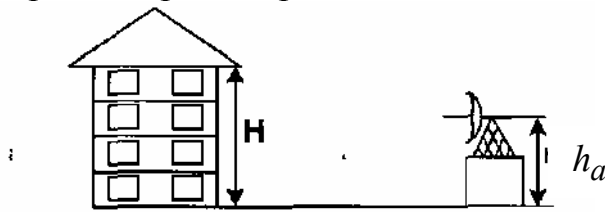


Рис. 27. К варианту № 14

### Вариант № 15

**15.1.** Обосновать необходимость применения экранирования и определить эффективность экрана нагревательного элемента высокочастотной закладной установки, работающей в диапазоне частот до 200 кГц. Измеренное максимальное значение напряженности магнитного поля  $H$  на рабочем месте 16 А/м, а продолжительность работы 6 ч.

**15.2.** Диспетчерский радиолокатор ДРАС-А аэропорта «Б» находится вблизи жилой застройки с повышением по уровню местности на 5 м. Высота застройки не более 4 этажей (10 м). Антенна РЛС поднята на высоту 22 м и работает при минимальном угле места  $2,5^\circ$ . Определить радиус зоны «строгого режима», приняв ПДУ для персонала равным  $10 \text{ мкВт/см}^2$ .

**15.3.** Определить наименьший размер зоны «ограничения» санитарно-защитной зоны радиолокационного комплекса «Утес-М» кругового обзора, расположенного вблизи жилой зоны с повышением по уровню местности на 2,5 м. Максимальная высота жилых домов не превышает 3 этажей (9 м). Антенна комплекса поднята на высоту 13,5 м и может работать при угле места, равном  $0,5^\circ$ . Принять ПДУ для населения равным  $15 \text{ мкВт/см}^2$ .

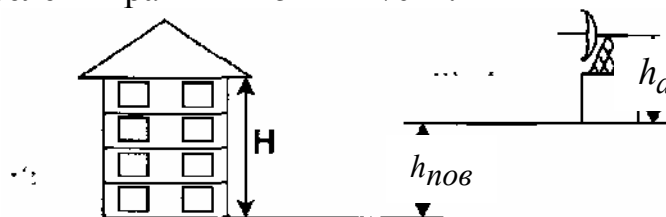


Рис. 28. К варианту № 15

### Вариант № 16

**16.1.** Оценить с точки зрения условий труда уровень электромагнитных излучений частотой 360 МГц, если плотность потока энергии (ППЭ), измеренная на рабочем месте регулировщика радиоаппаратуры, равна  $0,7 \text{ Вт/м}^2$ , а время, в течение которого регулировщик подвергается облучению, составляет за смену 5 ч.

**16.2.** Оценить с гигиенической точки зрения уровень электромагнитного поля в жилой зоне на расстоянии 400 м от метеорологического радиолокатора МРЛ-4 ( $\lambda = 0,8$  см), средняя мощность излучения которого 125 Вт, коэффициент усиления антенны  $0,9 \cdot 10^4$ , ширина диаграммы направленности по мощности в вертикальной плоскости 1,4, коэффициент, учитывающий влияние земли, 0,8. Жилая территория на указанном расстоянии имеет повышение по уровню местности примерно 2 м. Высота застройки не более 5 этажей (12 м). Антенна РЛС поднята на высоту 18 м. Радиолокатор может работать при минимальном угле места  $0,5^\circ$ .

**16.3.** Диспетчерский радиолокатор ДРЛ-А аэропорта «Б» находится вблизи жилой застройки с повышением по уровню местности на 3 м. Высота застройки не более 4 этажей (10 м). Антенна РЛС поднята на высоту 22 м и работает при минимальном угле места  $2,5^\circ$ . Определить радиус зоны «строгого режима», приняв ПДУ для персонала равным  $10 \text{ мкВт/см}^2$ .

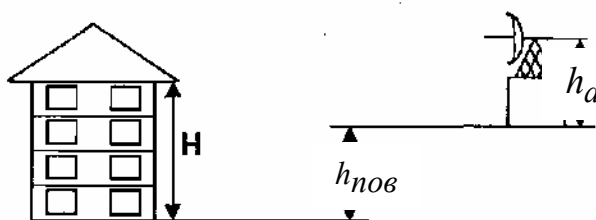


Рис.29. К варианту № 16

### Литература

1. Санитарные правила и нормы работы с источниками электромагнитных полей радиочастотного диапазона. – Мн.: Ми-во здравоохранения РБ, 1994. Утв. Н. 09.94.№ 11-17-94.
2. Михнюк Т.Ф. Безопасность жизнедеятельности. – Мн.: Дизайн ПРО, 1998.

**Учебное издание**

**Михнюк Тимофей Федорович**

**Защита от электромагнитных полей  
радиочастотного диапазона**

Учебное пособие  
для студентов радиотехнических и  
приборостроительных специальностей дневной,  
вечерней и заочной форм обучения

**Редактор Т.А. Лейко**  
Корректор Е.Н. Батурчик

Компьютерная верстка Т.В. Шестакова

---

Подписано в печать .11.2003.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Печать ризографическая.	Гарнитура «Таймс».	Усл. печ. л.
Уч.-изд. л.2,2.	Тираж 200 экз.	Заказ 264.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».  
Лицензия ЛП № 156 от 30.12.2002.  
Лицензия ЛВ № 509 от 03.08.2001.  
220013, Минск, П. Бровки, 6