

Батыркулов Н., Утепов Е.Н.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

N. Batyrkulov, E.N. Uteпов

RADIO WAVES OF METALLURGICAL EQUIPMENT

УДК: 628.58:537.811(043)

Исследованы уровни ЭМП дуговой и индукционной печей. В плавильном цехе измерены уровни ЭМП. Изготовлены защитные экраны от ЭМП.

It is investigated electromagnetic fields of the arc and induction furnace. It is measured electromagnetic fields of the equipment of melting shop. Filters from electromagnetic fields are developed.

Генераторы токов высокой частоты устанавливают в отдельных помещениях I и II степени огнестойкости, машинные генераторы – в звуконепроницаемых кабинах.

Для установок мощностью до 30 кВт отводят площадь не менее 40 м², большей мощности – не менее 70 м². Расстояние между установками – не менее 2 м. Установки экранируют или размещают в экранированных боксах.

Разрешается размещение ВЧ-установок для нагрева металлов и диэлектриков в общих помещениях, включая расположение на потоке, при условии, что на рабочих местах предельно допустимые уровни облучения не будут превышены, а облучение лиц, не обслуживающих данные установки, будет вовсе исключено.

Не разрешается экранирование помещений, в которых размещены ВЧ-установки для термической обработки (так как оно ухудшает условия труда).

Планировку производят с учетом исключения влияния одного агрегата на другой и устройства проходов нормированной ширины.

Привода, кабели, шины и другие токоведущие части ограждают или размещают на недоступной высоте. Должна быть исключена возможность нагрева их.

Предусматривают устройства (рубильники, автоматы, выключатели), обеспечивающие видимое отключение от цеховой сети.

Ограждения помещений высокочастотных установок должны создавать необходимую защиту смежных помещений.

Обязательна общая вентиляция помещений (с вытяжкой из верхней зоны помещения и притоком в рабочую зону). При наличии выделений от агрегатов обязательно устройство местной вентиляции.

Так, над индукционной печью устанавливают зонт с боковыми шторками, скорость движения воздуха не менее 1,5 м/с; у закалочного контура – отсос со скоростью движения воздуха 2-4 м/с. Местные вытяжные устройства изготавливают из неметаллических материалов (асбоцемента, текстолита и др.).

Помещения высокочастотных установок нельзя загромождать металлическими предметами. Должны быть соблюдены требования электробезопасности.

Надежный способ защиты – экранирование.

Защитные материалы используют двух видов: отражающие электромагнитные волны и поглощающие их. Электромагнитное поле ослабляется металлическим экраном вследствие создания в его толще поля противоположного направления.

Для экранирования применяют материалы с высокой электрической проводимостью (сталь, медь, алюминий, лагунь) в виде листов толщиной не менее 0,5 мм или сетки с ячейками не более 4x4 мм.

Степень ослабления электромагнитного поля зависит от глубины проникновения высокочастотного поля в толщу экрана.

Глубину проникновения¹ поля δ в экран определяют по формуле:

$$\delta = 1/\sqrt{\mu\sigma\pi f} \quad (12.1)$$

где μ – абсолютная магнитная проницаемость материала экрана, Гн/м;

σ – удельная проводимость материала экрана, Ом⁻¹•м⁻¹;

f – частота, Гц.

Эффективность экранирования сплошного экрана \mathcal{E} должна удовлетворять неравенству

$$\mathcal{E} > \ell \frac{d}{\delta} \quad (12.2)$$

где d – толщина материала экрана, мм.

Как правило, $d \gg \delta$.

Чем больше ρ , μ , f , тем меньше глубина проникновения в толщу экрана и, следовательно, тем тоньше может быть экран (рис. 1)².

Если поток электромагнитных волн, отраженный от металлического экрана, может нарушить режим работы установки, экран покрывают поглощающим материалом либо изготавливают его из специальных поглотителей.

¹ Диапазон частот 60–100 кГц впредь до уточнения гигиенических нормативов приравнивается к диапазону частот 100 кГц–30 МГц.

Обязательно использование защитных очков.

Противопоказания к приему на работу предусмотрены приказом Министра здравоохранения СССР от 30 мая 1969г., № 400 (список 51).

² Глубина проникновения, в которой поле ослабляется в e раз. На графике не указана сталь, так как ее магнитная проницаемость зависит k от ряда других факторов.

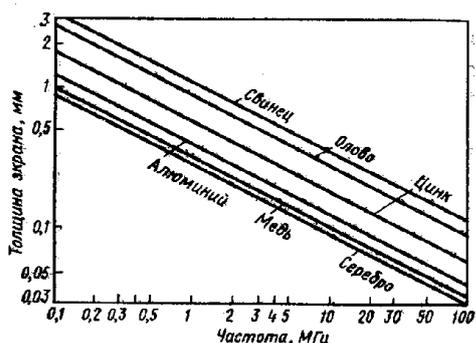


Рис. 1. Глубина проникновения электромагнитных полей в толщу экрана.

Сплошные металлические экраны надежно экранируют любые практически встречающиеся источники полей СВЧ. Даже при толщине экрана в 0,001 мм поле СВЧ ослабляется примерно на 50 дБ (в 10^5 раз). Значит, для экранирования можно использовать тонкую металлическую фольгу.

Сетчатые экраны обладают худшими экранирующими свойствами по сравнению со сплошными экранами. Но они находят применение для ослабления потока мощности СВЧ на 20-30 дБ (в 10^2 - 10^3 раз), а также при необходимости улучшить вентиляцию или визуальное наблюдение за агрегатом.

Эластичные экраны (из специальной ткани с вплетенной тонкой металлической сеткой) применяют для экранов штор, чехлов, спецодежды и т. п. Защитные свойства такой ткани характеризуются ослаблением электромагнитного поля на 20-50 дБ (в 10^2 - 10^5 раз).

Оптически прозрачное стекло, покрытое полупроводниковой двуокисью олова, создает ослабление более чем на 20 дБ.

Поглощающие экраны для покрытия экранирующих ограждений изготавливают из прессованных листов резины и других специальных материалов.

Поглощают электромагнитную энергию аквадаг (коллоидно-графитовый препарат СБГ-1), известковая и меловая краски.

Из специальных поглотителей применяют материалы марок ХВ – магнито-диэлектрические пластины, изготовленные на основе полихлорвинилового смолы с наполнителем – карбонильным железом. Для усиления действия эти пластины с одной стороны обклеивают металлической фольгой либо запрессовывают в них мелкоячеистую латунную сетку. Применяют также резиновые коврики.

Покрываются крепятся к каркасу экрана с помощью специальных клеев.

Термостойкие материалы изготавливают на основе кремнийорганического каучука.

Смотровые окна камер экранируют мелкоячеистой металлической сеткой (при плотном контакте по периметру окон) или для этой цели используют оптически прозрачное стекло со специальной экранирующей пленкой.

Материал для экранов подбирают по необходимой эффективности экранирования, пользуясь

справочными материалами³.

Эффективность экранирования может быть оценена в децибелах:

$$Э_{дБ} = 20 \lg E_0/E_э \quad (12.3)$$

а степень экранирования – в относительных единицах:

$$Э_{ст} = E_0/E_э \text{ и } Э_{ст} = H_0/H_э, \quad (12.4)$$

где E_0 и H_0 – напряженность поля в отсутствие экрана;

$E_э$ и $H_э$ – напряженность поля при наличии экранов.

Общее экранирование устраивают путем создания экранированной камеры, полностью укрывающей высокочастотную установку; управление установкой осуществляется дистанционно.

При полном поблочном экранировании все опасные блоки установки, включая рабочие элементы, ограждают передвижными металлическими герметичными экранами.

При неполном поблочном экранировании за металлические экраны помещают все высокочастотные блоки установки (за исключением рабочих элементов, которые по технологическим соображениям нельзя экранировать). Форма экранов зависит от конфигурации и устройства экранируемого блока.

Для усиления эффекта экранирования применяют многоступенчатое экранирование металлом (металлические листы, сетки, комбинации листов и сеток). Экранируют генератор (первичный контур), рабочие контуры, фидерные линии, индукционные катушки, рабочие конденсаторы, установку в целом.

Выходы органов управления не должны ослаблять эффективность экранирования (рис. 2).

В рабочие отверстия экранов (например, для вывода ручек управления, наблюдения или вентиляции) вставляют металлические трубы полые с диэлектрическим стержнем, в виде коаксиальной линии, внешней; проводник которой образуется металлической трубкой, а внутренний – металлическим стержнем (рис. 3).

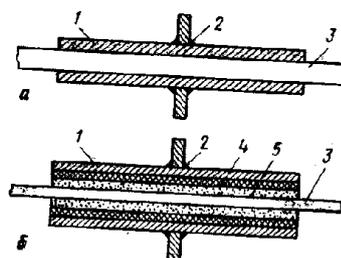


Рис. 2. Конструкции устройств для вывода органов управления сквозь стенки экрана:

а – вывод с диэлектрической осью;

б – вывод с металлической осью.

1 – металлическая труба; 2 – места пайки;

3 – диэлектрическая ось; 4 – диэлектрик;

5 – радиопоглощающий материал.

³ Ушинская О.Ф., Франке В.А. – В кн.: Защитные устройства. Под ред. Б.М. Злобинского. М., «Металлургия», 1971, с. 121-132.

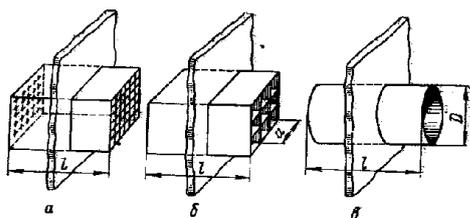


Рис. 3. Смотровые и вентиляционные отверстия в экранах:

a – короб с двойной сеткой; *b* – прямоугольная решетка; *в* – труба.

При необходимости экранирования рабочих мест их размещают в изолированных кабинках (камерах) либо ограждают экранами с поглощающими покрытиями.

Части экранов надежно электрически соединяют (пайкой или сваркой) между собой, двери и заслонки отверстий – с основной частью экранов.

Электромагнитное поле от промышленного оборудования вызывает нарушения жизненно важных органов и систем человека (мозга, сердца, сосудов, нервов, работы легких, желудочно-кишечного тракта, и др.)

Энергия электромагнитного поля поглощается тканями человека, превращаясь в теплоту. Тепловой эффект возникает за счет переменной поляризации диэлектрика (сухожилия, хрящи и т.д.) и токов проводимости в жидких составляющих тканей, крови и т.п. Если механизм терморегуляции тела не способен рассеять избыточное тепло, то возможно повышение температуры тела. Перегрев особенно вреден для тканей со слаборазвитой сосудистой системой или с недостаточным кровообращением (глаза, мозг, почки, желудок, желчный пузырь). Облучение глаз может вызвать помутнение хрусталика (катаракту).

Влияние электромагнитных полей заключается не только в их тепловом воздействии. При действии поля происходит поляризация макромолекул тканей и ориентация их параллельно электрическим силовым линиям, что может привести к изменению их свойств: нарушению функций сердечно-сосудистой системы и обмена веществ.

В работе исследовали уровней ЭМП оборудования литейного цеха АО «Казферросталь».

Уровни ЭМП дуговой печи и индукционной плавильной печи представлены в таблице 1.

В таблице 1 представлены результаты измерений характеристик электромагнитного поля (электрическая и магнитная составляющие) при работе дуговых электрических печей ДСП-1 и ДСП-

2, трансформаторов 1ТДН-110/10, 2ТДН-110-10 и агрегата «ковш-печь» (АКП) АО «Казферросталь». В этой же таблице представлены измерения ЭМП при работе индукционной плавильной печи КазНТУ имени К.И. Сатпаева модели ЛПЗ-2-67М.

Как видно из таблицы 1, электрическая составляющая ЭМП максимальна у трансформатора 1ТДН-110/10 (12 кВ/м на расстоянии 0,5); 2ТДН-110-10 (10 кВ/м на расстоянии 0,5 м); дуговой печи ДСП-1 (8 кВ/м на расстоянии 0,5 м).

С увеличением расстояния от источника ЭМП до рабочего места уровни электрической составляющей ЭМП существенно снижаются. Так, у дуговой печи ДСП-1 уровни ЭП ЭМП характеризуются 8 кВ/м; 5 кВ/м; 2кВ/м (на расстоянии 0,5 м; 1,0 м; 2,0 м соответственно).

У дуговой печи ДСП-2 уровни ЭП ЭМП изменяются в следующей последовательности: 9 кВ/м; 6 кВ/м; 3 кВ/м (соответственно при расстоянии от источника ЭМП 0,5; 1,0 м; 2,0 м). У трансформатора 1ТДН-110/10, питающего электроэнергией плавильную печь ДСП-1, уровни ЭП ЭМП составляют 12кВ/м; 8 кВ/м и 4 кВ/м (через 0,5 м; 1,0 м и 2,0 м соответственно).

Агрегат «ковш-печь» характеризуется значениями ЭП ЭМП 8 кВ/м (0,5м от источника); 6 кВ/м (1,0м от источника; 4 кВ/м(2,0м от источника).

Минимальные значения ЭП ЭМП наблюдаются у индукционной плавильной печи марки ЛПЗ -2 – 67М: 6 кВ/м; 3 кВ/м и 1,0 кВ/м (0,5;1,0;2,0 м от источника ЭМП соответственно).

Магнитное поле (МП) электромагнитного поля изменяется у вышеописанных агрегатов следующим образом. Максимальные уровни МП при работе наблюдаются у трансформатора 2ТДН -110/10, обеспечивающего электроэнергией плавильную дуговую печь ДСП-2 (1,22 мкТл; 1,1 мкТл; 0,6мкТл).

Магнитная составляющая ЭМП у плавильной дуговой печи ДСП-1 также выше нормы (0,2 мкТл) на расстоянии 0,5 м, магнитное поле характеризуется 0,25 мкТл; на расстоянии 1,0 м -0,11 мкТл; на расстоянии 2,0 м -0,06 мкТл.

Магнитное поле (МП) у плавильной дуговой печи ДСП-2 также выше допустимого значения (0,2 мкТл) и изменяется с расстоянием следующим образом: 0,24 мкТл; 0,15 мкТл; 0,10 мкТл (соответственно на расстоянии 0,5 м; 1,0 м; 2,0 м).

Магнитное поле трансформатора 1ТДН-110/10 характеризуется значениями: 0,22 мкТл; 0,11 мкТл; 0,08 мкТл (на расстоянии 0,5 м; 1,0 м; 2,0 м соответственно).

Очень высокие значения магнитного поля наблюдаются у агрегата “ковш-печь” (АКП): 1,2 мкТл (на расстоянии 0,5 м); 1,1 мкТл (на расстоянии 1,0 м от источника); 1,4 мкТл (на расстоянии 2,0 м от источника). Самые низкие значения магнитного поля наблюдаются у индукционной плавильной печи: 0,4 мкТл; 0,2 мкТл; 0,12 мкТл (на расстоянии 0,5 м; 1,0 м; 2,0 м от источника ЭМП).

раздвижного экрана (СРЭ), которые при движении из неподвижной части экрана (7) увеличивают площадь окна (5). Между сталеваром и источником ЭМП остается сетка (размер сеточного элемента (2-8) λ), а расстояние между сеточными элементами (200-300)λ. Сталевар может находиться в разных местах по отношению к печи, поэтому все три рабочих места экранируется экранами СРЭ. При этом экран

Таблица 1

Результаты измерений электромагнитных полей при работе дуговых и индукционных плавильных печей без экранирования

Номера источников	Расстояние от источника, м	Название источника	E ₁ , кВ/м	Норма E ₁ , кВ/м	E ₂ , кВ/м	Норма E ₂ , кВ/м	B ₁ , мкТл	Норма B ₁ , мкТл	B ₂ , нТл	Норма B ₂ , нТл
1	0,5	ДСП-1	8	0,5/1/5	0,3	0,5/1/5	0,25	0,2	1,5	0,2
	1		5		0,2		0,11		1,3	
	2		2		0,1		0,06		1,5	
2	0,5	ДСП-2	9		0,5		0,24		1,6	
	1		6		0,2		0,15		1,8	
	2		3		0,1		0,1		1,2	
3	0,5	1ТДН-110/10	12		0,3		0,22		0,8	
	1		8		0,2		0,11		0,6	
	2		4		0		0,08		0,4	
4	0,5	2ТДН-110/10	10		0,4		1,22		1,2	
	1		7		0,2		1,11		1	
	2		3		0		0,6		0,8	
5	0,5	АКП	8		0,5		1,2		0,5	
	1		6		0,3		1,1		1,2	
	2		4		0,1		1,4		1,4	
6	0,5	ЛПЗ-2-67М	6	0,1	0,4	1,5				
	1		3	0,05	0,2	1				
	2		1	0,02	0,12	0				

Для защиты работников от ЭМП печного оборудования были изготовлены два экрана: один для дуговой электрической печи, второй - для индукционной плавильной печи.

На рисунке 1 представлена схема экранирования электромагнитных полей (ЭМП) дуговой сталеплавильной печи ДСП-1. При работе дуговой печи происходит интенсивное излучение ЭМП в окружающую рабочую зону. Для защиты от прямого действия ЭМП рекомендуется сложный раздвижной экран (4), который используется следующим образом. Работник (сталевар) располагается в позиции 8. Для наблюдения за ходом процесса расплавления шихты сталевар приводит в движение створки экрана – подвижные части (6) сложного

СРЭ может перемещаться по цеху и экранировать не только процесс расплавления, но и излучение трансформатора и АКП (агрегат “ковш-печь”).

На рисунке 1 представлена схема экранирования ЭМП при работе индукционной плавильной печи модели ЛПЗ-2-67М. Сложный раздвижной экран (СРЭ) располагается перед индукционной печью на расстоянии 800λ, а рабочее место сталевара (оператора) находится на расстоянии 1100λ. Где λ – длина радиоволны СВЧ на частоте 300 ГГц, т.е. λ=1 мм. Если сталевар (оператор) будет менять рабочее место, тогда экран СРЭ может перемещаться (на роликах) и обеспечить экранирование в любой точке рабочего пространства.

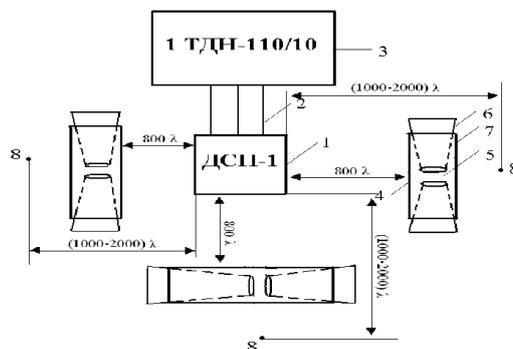


Рис. 1. Схема экранирования ЭМП индукционной печи ЛПЗ-2-67М:

1 – дуговая сталеплавильная печь ДСП-1; 2 – электропитание (шины); 3 – трансформатор 1ТДН-110/10; 4 – сложный раздвижной экран (СРЭ) от ЭМП; 5 – окно для наблюдения; 6 – подвижная часть СРЭ; 7 – неподвижная часть СРЭ (сетка); 8 – рабочее место сталевара.

Заключение: исследовано электромагнитное поле металлургического оборудования (дуговая печь, трансформатор дуговой печи, индукционная печь). Рекомендованы экраны для УДК 331.43:537.

Рецензент: д.т.н. Осмонов К.А.