



БЕЗОПАСНЫЙ УРОВЕНЬ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ КОНТАКТНОЙ СВАРКЕ

О. Г. ЛЕВЧЕНКО, д-р техн. наук, В. К. ЛЕВЧУК, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Выполнен анализ источников и формы сигналов магнитных полей, создаваемых оборудованием при контактной сварке, с целью их достоверной гигиенической оценки в соответствии с новыми нормативами Украины. Приведены результаты исследований спектрального состава и напряженности магнитных полей при различных способах контактной сварки. Предложены рекомендации по защите сварщиков от магнитных полей.

Ключевые слова: контактная сварка, электромагнитное излучение, магнитные поля, напряженность, спектральный состав, предельно допустимые уровни, защита сварщиков

Широкое применение контактной сварки в автомобильной, авиационной, электронной и других отраслях промышленности Украины привело к созданию большого парка электрооборудования и сварочных машин (в основном переменного тока 50 Гц) различных типов и назначения мощностью более десятков и сотен киловольт на ампер. При эксплуатации этого оборудования на рабочих местах сварщиков генерируются магнитные поля (МП) значительной напряженности (до 80 кА/м).

В последнее время особое внимание уделяется вредному воздействию на организм электромагнитных полей (ЭМП) [1–4]. Одной из групп рабочих, которые подвергаются действию ЭМП большой интенсивности, являются сварщики. Заметим, что применительно к сварочным процессам санитарно-гигиеническое значение имеет только магнитная составляющая ЭМП [5].

Источником излучений является сварочный трансформатор, не полностью экранированный корпусом сварочной машины, и, как правило, неэкранированные сильноточные элементы сварочного контура (консоли, свечи, электроды). Результаты ранее проведенных исследований свидетельствуют о локальном образовании МП рассеивания вблизи контактных машин. Сварочное оборудование может быть расположено близко к сварщику, а сварочные кабели могут находиться в прямом контакте с его телом (при сварке ручным инструментом в виде клещей, пистолетов и др.). Длительное воздействие указанного фактора негативно влияет на здоровье рабочих, вызывает определенные функциональные изменения в организме. ЭМП могут воздействовать на сердечно-сосудистую систему, вызывать патологические изменения нервной, эндокринной и других систем. Существуют также данные, свидетельствующие

о канцерогенном характере воздействия ЭМП. В связи с этим давно возникла острая необходимость в постоянном контроле электромагнитной обстановки на рабочем месте сварщиков и обеспечении безопасных условий их труда.

В последнее время в связи с введением в Украине новых нормативов ДСН 3.3.6.096–2002 [5] (регламентирующих условия безопасности при работе с постоянными МП; постоянными МП, создаваемыми выпрямленным трехфазным током; переменными МП частотой 50 Гц; ЭМП в диапазоне 1 кГц...300 МГц и импульсных ЭМП в спектральном диапазоне частот 0...1000 МГц) возникает необходимость в измерении и оценке сигналов МП с учетом их спектрального состава.

Цель данной работы — на основе анализа формы и интенсивности сигналов МП дать адекватную гигиеническую оценку электромагнитной безопасности при выполнении основных способов контактной точечной сварки и определить требуемую эффективность защиты от этих полей.

Характер МП при контактной сварке. Одним из основных факторов возникновения МП при контактной сварке является род тока источника питания (переменный, постоянный), запасаемая энергия (конденсаторная, индукционная сварка и др.) и режимы сварки.

Наибольшее влияние на выбор режимов сварки имеют электро- и теплопроводность свариваемого металла. Электропроводность определяет необходимое для сварки значение тока, теплопроводность — длительность нагрева и силу сжатия.

При нагреве свойства металла могут существенно изменяться. Необходимость сварки материалов с различными теплофизическими свойствами обуславливает следующие режимы точечной сварки: одноимпульсный (сварочный импульс); двухимпульсный (первый импульс дополнительный подогревающий) — «мягкий» режим сварки (длительность сварки примерно в 3,5 раза больше); трехимпульсный (два дополнительных импульса: подогревающий + отжигающий); режим для толстых листов при сво-

бодном охлаждении; модулированным импульсом тока.

Очень тонкие детали ($\leq 0,25$ мм) сваривают на особо жестких режимах с длительностью сварки менее 0,01 с. Жесткий режим осуществляется на конденсаторных машинах. Основной и дополнительный импульс тока имеют независимое регулирование и они могут подаваться с паузой или без нее. Основной импульс имеет модуляцию переднего фронта $t_{\phi} = 0,025$ с; $t_{св} = (0,03 \dots 0,07)$ с.

Шовная и рельефная сварка подобны точечной, режимы у них также одинаковые. Однако шовная сварка имеет, кроме того, шаговый и непрерывный режимы, когда сварочный ток может подаваться импульсами через продолжительные паузы или без них.

Наиболее широко применяемые углеродистые и среднелегированные стали имеют относительно невысокое электрическое сопротивление. Такие стали сваривают при длительном протекании тока, значение которого достигает 25 кА. При сварке цветных металлов и их сплавов при тех же толщинах требуются еще большие значения тока.

Анализ формы сварочного контура машин показывает, что она может быть отнесена к одному из классов геометрических фигур. В частности, для рассматриваемых машин контактной сварки она представляет незамкнутый с одной стороны прямоугольник, кабели подвесной точечной машины — две параллельные линии. Основным геометрическим размером конфигурации источника излучения для прямоугольника является половина расстояния между проводниками. Рабочая область сварщика (оператора) определяется относительно сварочного контура машины режимом ее работы и технологическим процессом обработки изделий.

Наличие в цепи (контуре) сварочного тока переменного параметра (сопротивления «сварочной точки») предопределяет преобразование (изменение) входного сигнала (спектра), форма сигнала МП полностью определяется формой кривой сварочного тока.

Одноимпульсная точечная и рельефная сварка переменным током частотой 50 Гц. При сварке переменным током частотой 50 Гц образуются МП, которые имеют форму радиоимпульсов (рис. 1). Радиоимпульс — это серия высокочастотных колебаний, которые могут быть представлены как результат 100%-й амплитудной модуляции высокочастотных колебаний видеоимпульсом. Электроаппаратура управления режимом сварки в этом случае, как правило, предусматривает регулирование длительности импульса сварочного тока $\tau_{и}$, фазовое регулирование тока (рис. 1, б) и модуляцию переднего и заднего фронтов импульсов.

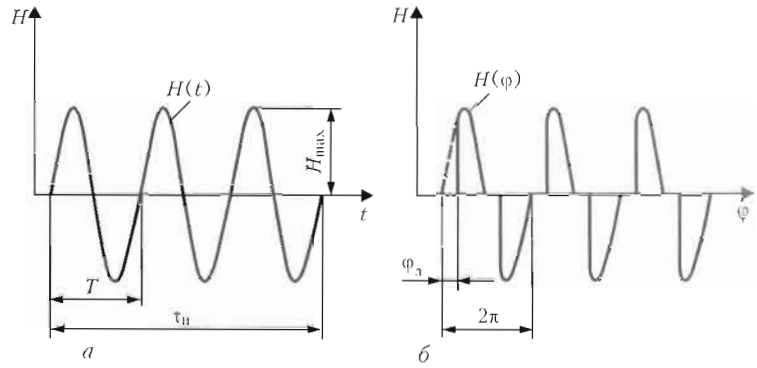


Рис. 1. Форма и характеристики радиоимпульсных сигналов одноимпульсных МП: а — регулирование длительности импульсно-сварочного тока; б — фазовое регулирование тока (обозначения см. в тексте)

Отметим, что в ранее действовавших санитарных нормах [6] допускалось, что радиоимпульсы МП, которые создаются при контактной сварке переменным током частотой 50 Гц, имеют незначительные искажения в результате переходных процессов в сварочной машине и переменного сопротивления в расплавленном металле. Принималось также, что сравнительно большая длительность этих импульсов ($\tau_{и} > 0,020$ с) и незначительные искажения формы синусоиды позволяют не учитывать состав спектра, считая, что основная часть энергии поля сосредоточена в области низких (до 50 Гц) частот (от нуля до $f = 1/\tau_{и}$ содержится 90 % всей энергии сигнала). В настоящее время эти допущения вряд ли можно считать корректными.

Известно также, что спектр импульса в форме отрезка синусоиды, который состоит из нескольких периодов n , определяется выражением [7]

$$H_{xx} = \int_0^{nT/2} e^{-j\omega t} \sin \omega_0 t dt = 2S_{xx} \int_{-nT/2}^{nT/2} e^{-j\omega t} \sin \omega_0 t dt = \frac{4j\omega_0}{\omega_0^2 - \omega^2} (-1)^n \sin \pi n \frac{\omega}{\omega_0}, \quad (1)$$

где H_{xx} , S_{xx} — соответственно одно- и двухсторонняя спектральная плотность амплитуды напряженности МП; T — период колебания; ω —

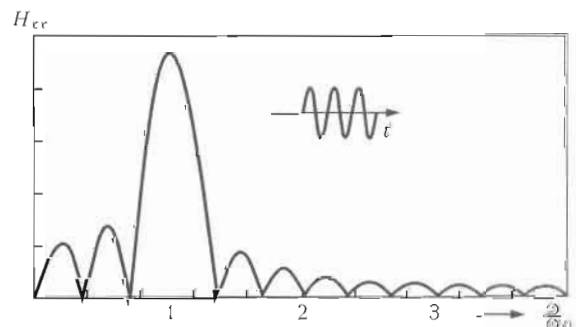


Рис. 2. Спектр отрезка синусоиды (фазовые распределения)

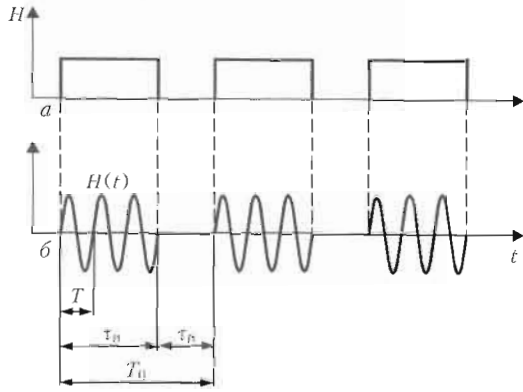


Рис. 3. Форма и характеристики радиоимпульсных сигналов многоимпульсных МП: а — характер изменения огибающей радиоимпульсов; б — пакки радиоимпульсов МП при многоимпульсной шовной сварке

круговая частота; n — количество периодов синусоиды с момента включения.

По сути — это текущий односторонний спектр синусоиды (рис. 2). Спектральная плотность амплитуды на частоте $\omega = \omega_0$ (50 Гц) увеличивается со временем линейно согласно выражению

$$H_{xx_n} \Big|_{\omega = \omega_0} = \frac{T}{2}, \quad (2)$$

т. е. в начале процесса спектр однородный (содержит большое количество гармоник) и лишь постепенно формируется максимум на частоте ω_0 .

Многоимпульсная шовная (двух- и трехимпульсная точечная и рельефная) сварка переменным током частотой 50 Гц. Импульсы МП, образующиеся при сварке в этом случае, повторяются через определенный промежуток времени и при шовной сварке образуют повторяющиеся серии, которые называются пачками импульсов. Возникающую последовательность радиоимпульсов (рис. 3, б) можно представить как результат изменения огибающей высокочастотного колебания в соответствии с последовательностью видеоимпульсов (рис. 3, а).

Подобную модуляцию часто называют импульсной. Однако здесь имеет место не модуляция, а включение источника сварочного тока в моменты возникновения импульсов и его выключение в моменты их прекращения. То обстоятель-

ство, что в начале каждого импульса колебание устанавливается заново, оказывает существенное влияние на спектр последовательности в зависимости от периода повторения импульсов T_n и скважности $Q = \tau_n / \tau_n$, где τ_n — время паузы.

Если имеющая место при рассматриваемых способах сварки и показанная на рис. 3, а последовательность видеоимпульсов является периодической и начальные фазы высокочастотного заполнения радиоимпульсов (рис. 3, б) одинаковы («привязаны» к фронту), то в результате модуляции получается последовательность радиоимпульсов, которая представляет собой периодическую функцию времени с периодом, равным периоду повторения видеоимпульсов T_n . Спектр подобного колебания, содержащий частоты, кратные частоте ω видеоимпульсов, показан на рис. 4.

Так же, как и в рассмотренном выше случае точечной сварки, электроаппаратура управления сварочной машины обеспечивает регулирование длительности импульса τ_n , фазовое регулирование тока ϕ_3 (см. рис. 1, где ϕ_3 — угол зажигания силовых тиристоров) и модуляцию переднего и заднего фронтов импульсов.

Конденсаторная сварка. При сварке постоянным током и запасаемой энергией создаются импульсы МП, имеющие форму видеоимпульсов. Видеоимпульсы — возрастание амплитуды положительной или отрицательной полярности от нуля до максимума и затем снижение до нуля (рис. 5). Форма видеоимпульса может быть различной: треугольной, ступенчатой, колоколообразной. При этом импульсы могут быть единичные (при точечной сварке) и могут повторяться через определенный промежуток времени (при шовной сварке).

Основными временными характеристиками импульсного МП являются длительность импульса τ_n , длительность паузы τ_n , период повторения T_n (скважность $Q = \tau_n / \tau_n$). Кроме того, импульс характеризуется длительностью фронта t_ϕ и среза t_c — временем возрастания и снижения напряженности в пределах от $0,1H_m$ до $0,9H_m$. Крутизна фронта характеризует скорость нарастания и убы-

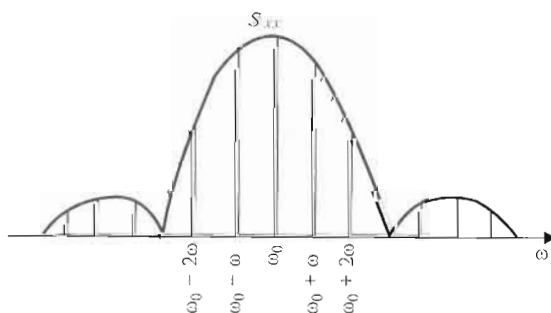


Рис. 4. Спектр многоимпульсной сварки

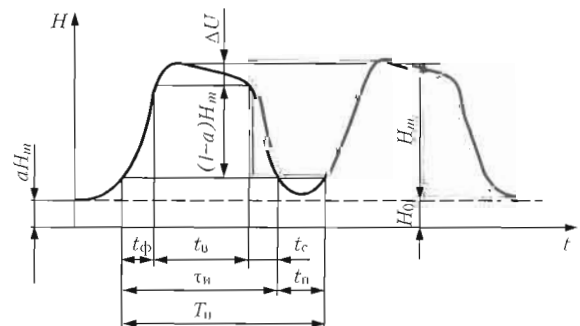


Рис. 5. Форма и параметры видеоимпульсных сигналов МП

вания напряженности МП соответственно $S_{\phi} = H_m/t_{\phi}$, $S_c = H_m/t_c$.

МП, образующиеся при сварке постоянным током и запасаемой энергией, являются непериодическими, их форма значительно отличается от гармонической. Спектр, образуемый подобными сигналами, зависит от длительности импульсов и их фронтов и определяется выражением

$$S_{xx}(j, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} H(t)e^{-j\omega t} dt, \quad (3)$$

где $S_{xx}(j, \omega)$ — двухсторонняя спектральная плотность напряженности МП; $H(t)$ — напряженность МП.

Уменьшение длительности импульса и увеличение крутизны фронтов ведут к расширению спектра в области высоких частот. На рис. 6, а показан теоретический спектр одиночного экспоненциального импульса при конденсаторной сварке, на рис. 6, б — внешний вид спектра пачки из трех одинаковых импульсов при интервале между импульсами $T_n = 3\tau_n$. Штриховыми линиями показана спектральная плотность одиночного импульса. С увеличением количества импульсов n в пачке спектральная плотность все более расщепляется и при $n \rightarrow \infty$ принимает линейчатую структуру спектра периодической функции. Это положение также относится к многоимпульсной сварке.

Таким образом, проведенный анализ рассматриваемых технологий и сварочного оборудования показывает, что при сварке в этих случаях в рабочей зоне образуются прерывисто-импульсные МП, т. е. поля, которые на протяжении определенного промежутка времени отличаются от нулевого значения и стохастически повторяются. Интенсивность облучения работающих зависит от типа используемого сварочного оборудования (амплитуды и длительности импульса сварочного тока, длительности паузы, количества циклов, длительности фронтов импульсов, фазового регулирования, $\cos \phi$ и др.), геометрических размеров и конфигурации источников МП, а также размещения рабочих мест относительно этих источников.

Нормирование МП. Предельно допустимые уровни (ПДУ) напряженности импульсных в спектральном диапазоне частот от 0 Гц до 1000 МГц на рабочих местах персонала определяются, исходя из допустимой энергетической нагрузки и времени воздействия по формулам:

$$E_{\text{ПД}} = \sqrt{EH_{E_{\text{ПД}}}/T}, \quad (4)$$

$$H_{\text{ПД}} = \sqrt{EH_{H_{\text{ПД}}}/T}, \quad (5)$$

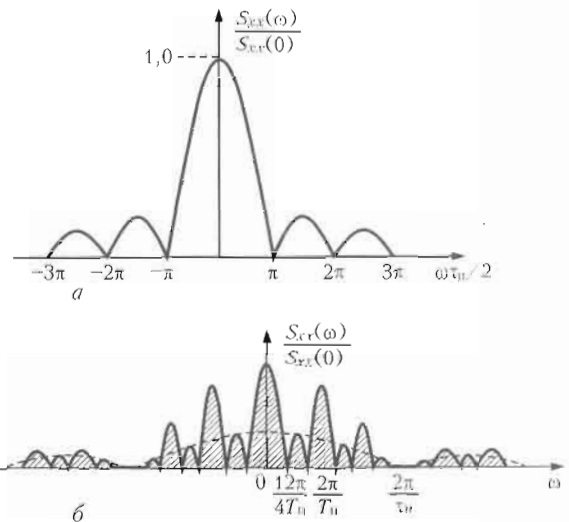


Рис. 6. Примеры спектров видеоимпульсов: а — теоретический спектр МП одиночного экспоненциального импульса при конденсаторной сварке; б — спектр МП пачки из трех одинаковых импульсов при интервале между импульсами $T_n = 3\tau_n$

где $E_{\text{ПД}}$ и $H_{\text{ПД}}$ — ПДУ напряженности электрического (В/м) и магнитного (А/м) полей; T — время воздействия, ч; $EH_{E_{\text{ПД}}}$ и $EH_{H_{\text{ПД}}}$ — предельно допустимые значения энергетической нагрузки соответственно электрического $((\text{В/м})^2 \cdot \text{ч})$ и магнитного полей $((\text{А/м})^2 \cdot \text{ч})$ в течение рабочего дня.

Предельно допустимые амплитудные значения напряженности МП в спектральных диапазонах частот определяются по табл. 1.

Если в диапазоне частот менее 300 МГц работают источники, для которых установлены разные ПДУ, необходимо придерживаться следующего требования:

$$\frac{E_1^2}{\text{ПДУ}_1^2} + \frac{E_2^2}{\text{ПДУ}_2^2} + \dots + \frac{E_k^2}{\text{ПДУ}_k^2} + \frac{H_1^2}{\text{ПДУ}_1^2} + \frac{H_2^2}{\text{ПДУ}_2^2} + \dots + \frac{H_k^2}{\text{ПДУ}_k^2} + \frac{W_1}{\text{ПДУ}_1} + \frac{W_2}{\text{ПДУ}_2} + \dots + \frac{W_k}{\text{ПДУ}_k} \leq 1. \quad (6)$$

Для рассматриваемых в настоящей статье случаев выражение (6) принимает вид

$$\frac{H_1^2}{\text{ПДУ}_1^2} + \frac{H_2^2}{\text{ПДУ}_2^2} + \dots + \frac{H_k^2}{\text{ПДУ}_k^2} = \sum_n \frac{H_{mk}}{\text{ПДУ}_k^2} \leq 1. \quad (7)$$

Допустимая продолжительность сварки $T_{\text{св. доп}}$ определяется из формул (5), (7).

При проведении экспериментов на данном этапе работ учитывались следующие предпосылки. Известен общий характер распространения МП вокруг вторичного контура с конфигурацией, показанной на рис. 7. На рис. 8 напряженность МП представлена в виде линий равной суммарной напряженности $H_0 = H_{x,y,z} = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}$. Действительная напряженность H_d в любой точке вы-

Таблица 1. Нормативные требования к МП

Параметр	Предельно допустимые амплитудные значения напряженности магнитного поля в спектральных диапазонах частот*								
	0...5 Гц	5...50 Гц	0,05...1 кГц	1...10 кГц	10...60 кГц	0,06...3 МГц	3...30 МГц	30...300 МГц	0,3...1 ГГц
$E_{ПД}$, В/м	60000	35000	3500	1000	300	200	150	100	80
$EH_{ПД}$ (В/м) ² ·ч	$3,2 \cdot 10^9$	$2,0 \cdot 10^8$	$1,6 \cdot 10^6$	120000	7200	3200	1800	800	500
$E_{ПД}$, В/м (8 ч)	20000	5000	447	120	30	20	15	10	8
T , ч (при $E_{ПД}$)	0,89	0,16	0,13	0,12	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
$H_{ПД}$, А/м	30000	10000	850	100	85	70	—	—	—
$EH_{ПД}$ (А/м) ² ·ч	$1,4 \cdot 10^8$	$1,6 \cdot 10^7$	70000	1300	900	400	—	—	—
$H_{ПД}$, А/м (8 ч)	4200	1400	94	13	11	7	—	—	—
T , ч (при $H_{ПД}$)	0,16	0,16	0,10	0,13	0,12	0,08	—	—	—

* Во всех случаях при определении диапазонов частот каждый диапазон исключает нижний и включает верхний предел частоты.

числяется по формуле: $H_d = H_0 I_{св}$. Данные из работы [8] были получены при длительном включении сварочного тока, длительность которого определяли временем «успокоения» стрелки измерительного милливольтметра и временем снятия показаний. В этой работе были определены уровни МП, которые влияют на работу находящейся поблизости электронно-измерительной и управляющей техники.

Анализ представленных данных показывает, что зона наименьшей напряженности МП располагается в плоскости XOZ перед контуром (рис. 8, а). Эксперименты проводили на машине точечной сварки МТ-1223 с номинальным длительным вто-

ричным током $I_{2H} = I_{св} = 5600$ А. На этом режиме основные параметры МП (H_m и t — время воздействия), создаваемых машинами контактной сварки переменным током частотой 50 Гц, по старым санитарным нормам [6] регламентировались графиком, приведенным на рис. 9. Так, на расстоянии 0,4 м на уровне точки соприкосновения электродов в плоскости XOZ (см. рис. 8, а) $H_m = 1,41 H_0 I_{св} = 3950$ А/м. При этом чистое время (суммарное время всех импульсов сварочного тока за рабочую смену) нахождения сварщика в этой зоне в течение рабочей смены не должно было превышать трех часов.

Методика определения напряженности МП. Учитывая, что в частотном диапазоне излучений 50...1000 Гц санитарная норма ужесточилась примерно в 15 раз по сравнению с диапазоном 5...50 Гц, в котором, как принималось ранее, эти излучения находятся, возникла необходимость экспериментального определения спектров напряженности импульсных МП. Для этого необходимо было первоначально разработать методику измерений и выбрать измерительную аппаратуру, определить спектры МП, проанализировать полученные данные в соответствии с новыми санитарными нормами [5], оценить влияние регулирования основных параметров сварочного цикла на спектры МП с целью их оптимизации и т. д. На этом этапе работ определяли спектры в зоне минимальной напряженности МП (рис. 7), что позволяет предварительно интерполировать полученные данные на все пространство рабочей зоны (рис. 8).

Требования новых санитарных норм к уровню импульсных электромагнитных излучений с учетом их спектрального состава однозначно определило использование в качестве регистрирующего прибора цифрового запоминающего осциллографа, совмещенного с персональным компьютером с соответствующим программным обеспечением. В качестве датчиков могут быть использованы приборы, основанные на гальваномаг-

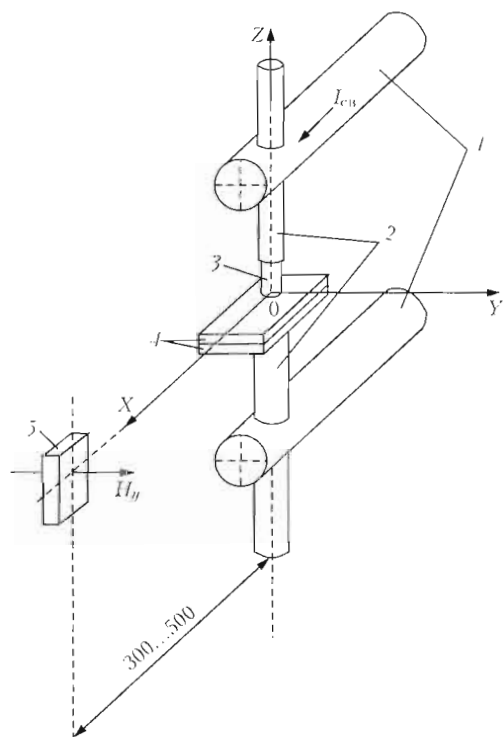


Рис. 7. Схема измерения напряженности МП: 1 — консоли сварочной машины; 2 — водоохлаждаемые свечи; 3 — электрод; 4 — свариваемые детали; 5 — датчик МП

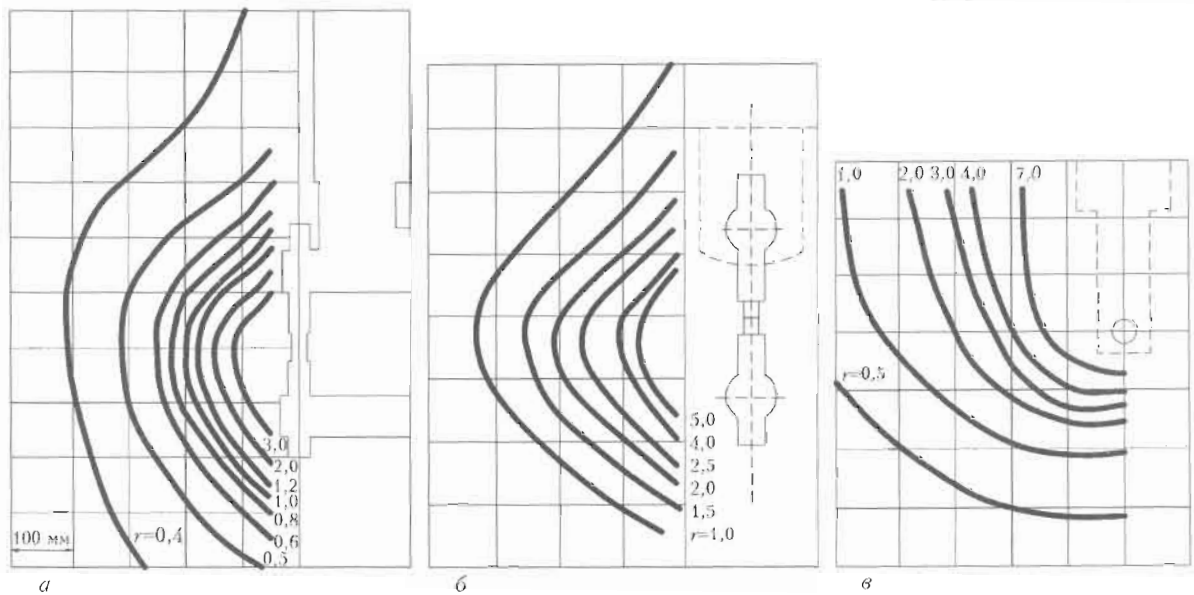


Рис. 8. Распределение напряженности МП в плоскости XOZ (а), YOZ (б), XOY (в)

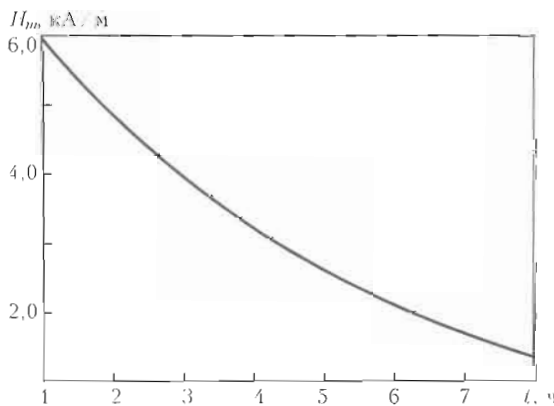


Рис. 9. Зависимость предельно допустимых значений напряженности непрерывных и прерывистых МП ($\tau_n \geq 0,02$ с; $\tau_n \leq 2,0$ с) частотой 50 Гц от времени воздействия

нитных явлениях в полупроводниках или индукционные катушки.

Для экспериментальной проверки изложенного выше, измерения и анализа исследуемых МП использовали следующие приборы: индукционный датчик магнитного поля ДМП-1; измеритель индукции магнитного поля ГФИ-1 (датчик Холла); осциллограф цифровой PCS-500 с функцией БПФ (быстрое преобразование Фурье) с ПК «Ezbook-700»; осциллограф цифровой запоминающий ТДС-1032 с функцией БПФ.

Аттестованные датчики и осциллографы обеспечивали измерения спектральных составляющих напряженности сигналов переменных и импульсных МП (см. табл. 1) от 10 до 160000 А/м. Нелинейность амплитудно-частотной характеристики датчика ДМП-1 в диапазоне частот 40...500 Гц не превышала ± 10 %, а датчика Холла в диапазоне 0,2...2000 Гц — ± 5 %.

С целью определения точности измерений была дана оценка погрешности приборов при наи-

более неблагоприятных сочетаниях (метод детерминированных оценок) частичных погрешностей, которая составила

$$\varepsilon_{пр} \cong \varepsilon_{датч} + \varepsilon_{осци} \cong 9 \%, \quad (8)$$

где $\varepsilon_{датч}$ — основная погрешность датчиков ± 5 %; $\varepsilon_{осци}$ — погрешность осциллографов ± 4 %.

Случайная «сглаженная» ошибка спектральной оценки, усредненная по n_d (не перекрывающимся, отдельным одинаковым участкам реализации длиной $t_{из}$ [9]), составляла

$$\varepsilon_r \left[\left[\hat{H}_{xx}(f, t_{из}) \right]^2 \right] \cong \frac{1}{\sqrt{n_d}} = 14 \%$$

Результирующая погрешность оценки спектров составляла $\varepsilon = \varepsilon_{пр} + \varepsilon_r = 23$ %.

Результаты измерений и расчеты параметров МП выполнялись согласно требованиям [5], т. е.

$$\sum \frac{H_{mk}^2}{\text{ПДУ}_k^2} \cong \sum_k^{N-1} \frac{H_{xk}^2}{\text{ПДУ}_k^2} \quad \text{для каждого способа,}$$

условий экспериментов, параметров режимов сварки и частотного диапазона. При этом $H_{mk} = \sqrt{2} H_{xx}(f, t_{из}) = \sqrt{2} H_{xk}$ — амплитудное значение k -й гармоники (см. табл. 1 в 2), усредненное по $n_d = 50$ интервалам (опытам). Разрешение спектра по частоте $\Delta f = 1/t_{из}$, где время наблюдения $t_{из} = N \Delta t$ (Δt — период квантования сигнала, с; N — количество наблюдений для N -точечного ДПФ) (разрешение: АЦП)).

Результаты исследований. Измерения выполняли как в лабораториях Института электросварки, так и в производственных условиях предприятий, где используется контактная сварка. Ор-



ганизацию рабочих мест (размещение оборудования, силовых и сварочных кабелей и др.) можно считать типовой (произвольно оптимальной). Условия проведения измерений на рабочих местах при контактной сварке, сварочные режимы и результаты измерения параметров МП приведены в табл. 2. Режимы работы сварочного оборудования при измерении МП можно характеризовать как весьма средние по мощности, поэтому при работе этого оборудования на более высоких ступенях регулирования амплитудные параметры МП могут многократно превышать значения, приведенные в табл. 2. Полученные осциллограммы

и спектрограммы сигналов МП приведены на рис. 10–14.

Рассмотрим полученные результаты для каждого способа контактной сварки.

Контактная точечная сварка. Результаты исследований показали, что для всех видов контактной точечной сварки характерны следующие закономерности. Форма сварочного тока в виде короткой пачки (пачек) синусоидальных импульсов — отрезков синусоиды (рис. 10) определяет спектр МП, который имеет переходный характер (промежуточный между дискретным и сплошным). Составляющие спектра в частотном

Таблица 2. Результаты гигиенической оценки МП

Сварочное оборудование, способ сварки, род тока	Режим сварки		Зона измерения	Диапазон частот, Гц	$\sum \frac{H_{mk}^2}{ПДУ_k^2} T_{св. доп}^2, ч$
	Длительность цикла, с; вид импульса	Ступень трансформатора			
МТП-1110, контактная точечная (ручная), переменный ток (приварка листов оцинкованного металла к каркасу микроавтобуса)	0,650; 2 импульса с модуляцией переднего и заднего фронтов импульсов — один период	1 (минимальная)	Возле сетевого кабеля	5...50 50...1000	<<1; — 4,2; 1,9
	То же	То же	Кисти рук (между рукоятками сварочного пистолета на расстоянии 0,1 м от ферромагнитных частей)	5...50 50...1000	<<0,23; — 25,8; 0,31
	» »	4 (максимальная)	То же	5...50 50...1000	6,8; 1,17 172; 0,047
ЕЛОТОР-502 фирмы «Koster» (пистолет для приварки шпилек), дугостыковая, постоянный импульсный ток (приварка шпилек диаметром 3 мм к стальным листам)	0,28; импульс постоянного тока	—	» »	0...5 5...50 50...1000	<<1; — <<1; — 1,01; 8,0
МТК-2202 (стационарная машина), точечная сварка листового металла, переменный ток	0,360; 2 импульса с модуляцией переднего и заднего фронтов импульсов — 1 период	4 (максимальная)	В плоскости сварочного контура машины на расстоянии 0,3 м от точки контакта электродов	5...50 50...1000	<1; — 3,0; 2,7
	То же	То же	В плоскости сварочного контура машины на расстоянии 0,5 м от точки контакта электродов	5...50 50...1000	<<1; — 1,45; 5,5
	0,420; 1 импульс с модуляцией переднего и заднего фронтов импульсов — 1 период	» »	То же	5...50 50...1000	<<1; — 1,6; 5,0
	0,416; 1 импульс с модуляцией заднего фронта. Угол регулирования тиристоров ~40°	» »	В плоскости сварочного контура машины на расстоянии 0,3 м от точки контакта электродов	5...50 50...1000	<<1; — 23,7; 0,3
МТК-2201, стационарная машина для точечной конденсаторной сварки, постоянный ток (сварка тонколистового металла 0,8 мм)	10 мс; напряжение сварки 700 В	—	Грудь. Кисти рук (в плоскости сварочного контура на различных расстояниях от точки контакта электродов)	0...5 5...50 50...1000 0...5 5...50 50...1000	<<1; — <<1; — <<1; — <<1; — <<1; — 14,14; 0,64

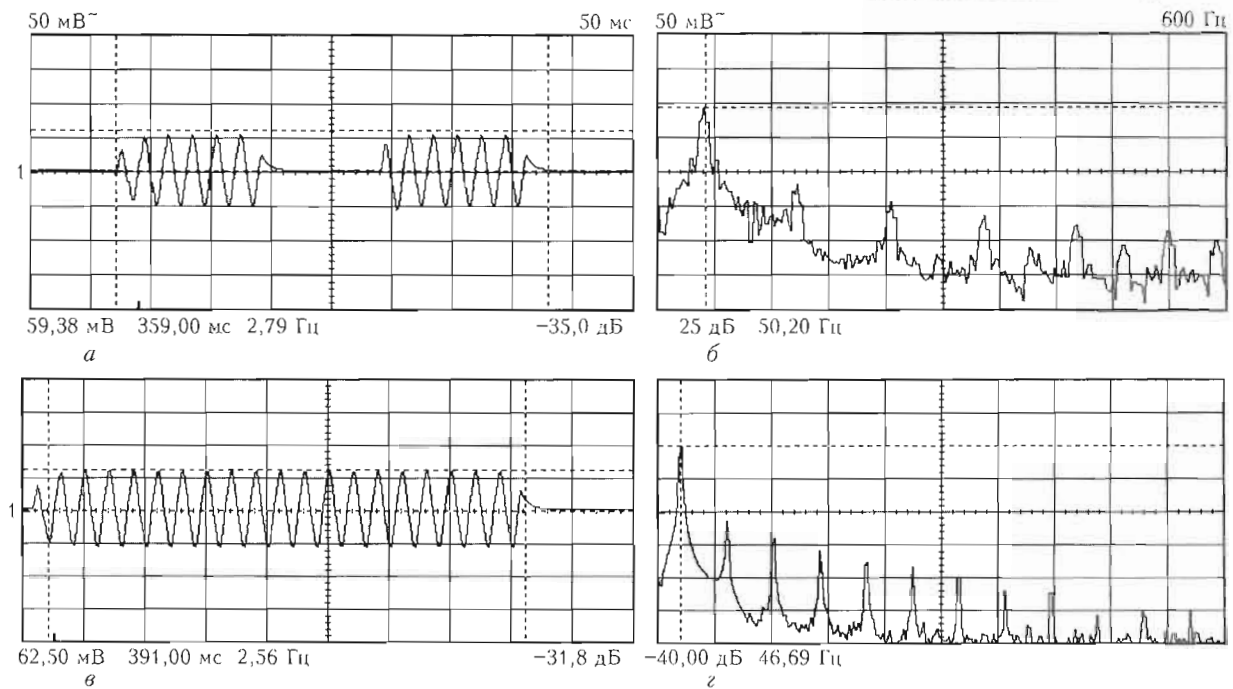


Рис. 10. Осциллограммы (а, в) и спектрограммы (б, г) МП контактной точечной сварки на машине МТК-2202: а — 2 импульса; в — 1 импульс

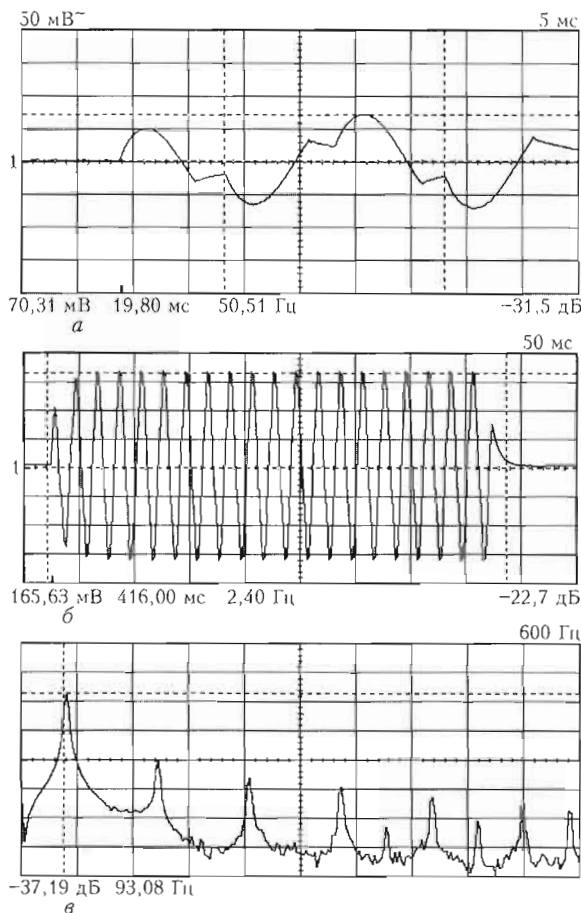


Рис. 11. Осциллограммы (а, б) и спектрограмма (в) МП контактной точечной сварки одним импульсом сварочного тока с фазовой регулировкой тиристорного контактора ($\phi_3 \approx 40^\circ$)

диапазоне 50...1000 Гц определяют проблемы магнитной безопасности этого способа.

Режимы при точечной сварке можно считать достаточно разнообразными с точки зрения получаемых спектров МП, имеющими значительное влияние на его состав в зависимости от количества импульсов в пачке и количества пачек (до трех: подогревающий, сварочный и отжигающий).

Еще более значимым фактором, определяющим амплитуды гармоник спектра МП, является значение сварочного тока, т. е. мощностные показатели режима, определяемые «ступенью регулирования» сварочного трансформатора (при этом исследование влияния $\cos \phi$ сварочных машин на форму сварочного тока и спектры сигналов МП на данном этапе работ не проводилось).

Фазовое регулирование тиристорных контакторов сварочного тока может иметь значительное влияние на магнитную обстановку в рабочей зоне и приводить к ее резкому ухудшению. В этом случае спектр МП смещается вправо с основной гармоникой 100 Гц (см. табл. 2 и рис. 11). При этом $T_{\text{св.доп}} \approx 0,3$ ч. Модуляция переднего и заднего фронтов импульсов существенного влияния на спектры МП не оказывает. Эти предварительные выводы можно априори перенести на способы рельефной и шовной сварки.

Отметим и неблагоприятные результаты, полученные при точечной контактной сварке ручным инструментом (клещи, пистолеты и др.). Осциллограммы и спектрограммы этого процесса приведены на рис. 12, условия проведения эксперимента — в табл. 2. На фотографиях (рис. 15), иллюстрирующих условия работы на киевском

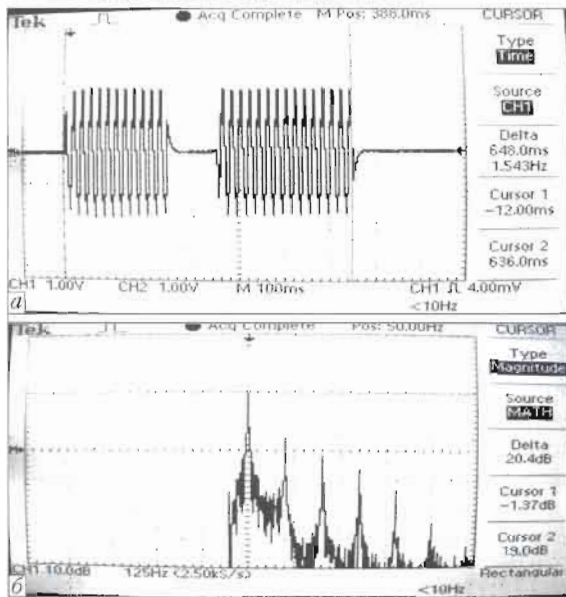


Рис. 12. Осциллограмма (а) и спектрограмма (б) МП между рукоятками пистолета МТП-1110 при ручной точечной контактной сварке

автомобиле при изготовлении кузовов микроавтобуса, можно наблюдать неблагоприятные пространственные размещения рабочего инструмента (сварочного пистолета) относительно тела сварщика во время работы. Учитывая, что на предприятии установлен 12-часовой рабочий день, длительность сварки $T_{св}$ с учетом длительности включения оборудования составляет несколько часов. Анализ полученных нами результатов измерений уровней МП показывает, что $T_{св,доп}$ для сварщика на этой технологической операции может составлять всего $T_{св,доп} \approx 0,047$ ч.

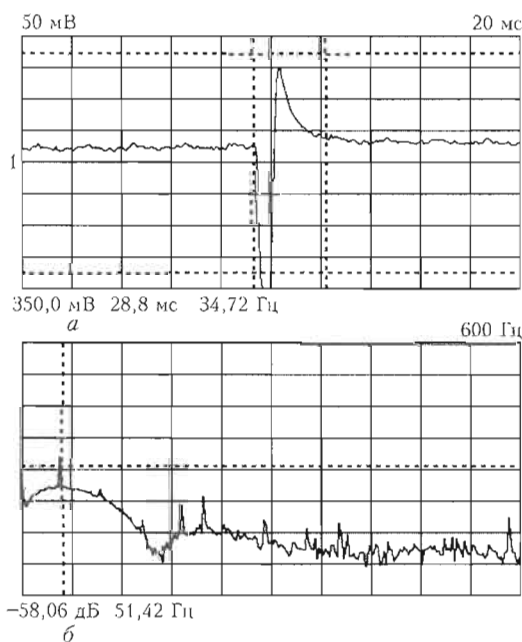


Рис. 13. Осциллограмма (а) и спектрограмма (б) МП конденсаторной точечной сварки на стационарной машине МТК-2201

Конденсаторная точечная сварка. Для всех видов конденсаторной точечной сварки на постоянном токе характерно, что форма сварочного тока в виде кратковременного экспоненциального видеоимпульса определяет сплошной спектр МП. Составляющие спектра в частотном диапазоне 5...1000 Гц, главным образом, определяют санитарные проблемы этого способа (см. табл. 2, рис. 13). В данном случае приведенная осциллограмма свидетельствует о неисправности электрической части конденсаторной машины МТК-2201, а именно «перебег» импульса через нуль при разряде конденсаторов, т. е. колебательный процесс при разряде должен исключаться. Таким образом, полученные данные отвечают реальным, но техническое состояние сварочной машины не отвечает техническим условиям. При этом $T_{св,доп} \approx 0,64$ ч.

Эти выводы можно интерпретировать и на ручную ударную конденсаторную сварку (ручная приварка шпилек диаметром 2...12 мм к листам пистолетом, установка УДК-701, разработка ИЭС им. Е. О. Патона) с очень вероятным допущением о более высоком магнитном излучении.

Дугостыковая сварка. При исследовании МП, которые возникают при сварке пистолетом «ELO-TOP» фирмы «Koester» (Германия), предназначенным для приварки шпилек диаметром 3...6 мм к листам импульсом постоянного тока (источник питания характеризуется отсутствием фазового регулирования тиристором), спектр сигнала МП имеет сплошной характер и смещен в диапазон частот 0...5 Гц (рис. 14). При этом $T_{св,доп} \approx 8$ ч,

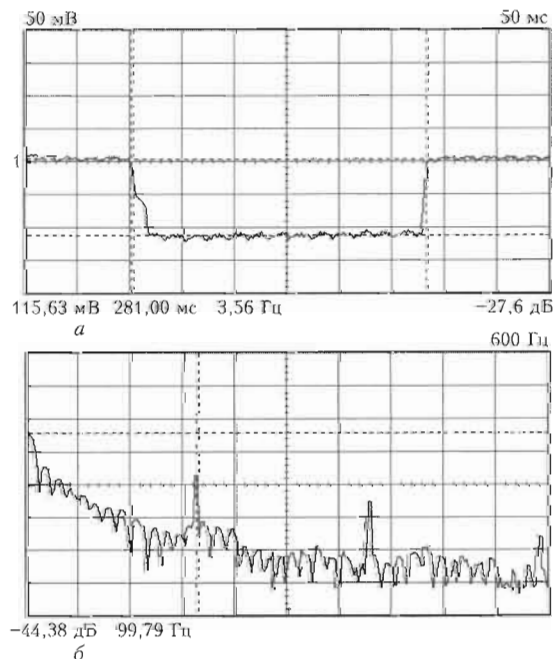


Рис. 14. Осциллограмма (а) и спектрограмма (б) МП дугостыковой точечной сварки пистолетом «ELO-TOP» (между рукоятками пистолета)



Рис. 15. Ручная контактная сварка пистолетом МТП-1110 на уровне плеча (а) и пояса (б)

т. е. обеспечивается минимальное влияние МП даже на кисти сварщика.

Рекомендации по защите сварщиков. Полученные результаты измерений напряженности МП дали возможность определить необходимую эффективность защиты при контактной электросварке (табл. 3). Под эффективностью защитных устройств понимается отношение напряженности МП (максимальное значение) на рабочем месте H_m к предельно допустимому $H_{ПД}$: $\Xi_3 = H_m / H_{ПД}$

Наиболее действенным решением проблем электромагнитной безопасности при контактной сварке могут служить технологические способы, а именно: оптимизация режимов контактной точечной, шовой и рельефной сварки не только с технологической точки зрения, но и электромагнитной безопасности (длительности, количества и модуляции импульсов, скважности, угла фазового регулирования тиристоров и т. д.); ограничение мощности контактных машин (особенно настольных машин, точечных клещей и пистолетов).

При этом разработчикам и изготовителям нового серийного сварочного оборудования необ-

Sources and shapes of signals of the magnetic fields generated by resistance welding equipment have been analysed to perform their reliable hygienic evaluation in line with the new standards of Ukraine. Results of examinations of spectral composition and intensity of the magnetic fields generated by using different resistance welding methods are given. Recommendations for protection of welders from the magnetic fields are suggested.

Таблица 3. Необходимая эффективность способов защиты при контактной сварке

Способ сварки	Максимальная напряженность МП на рабочем месте в диапазоне частот 50...1000 Гц, А/м	Необходимая эффективность защиты, раз
Точечная (клещи)	580	6...8
Точечная (стационарная)	290	3...4
Точечная (конденсаторная)	120	2
Дугостыковая (ручная, без фазового регулирования)	80	—
Шовная	—	2...3
Рельефная	—	2

ходимо учитывать условия их применения и действующие санитарные нормы, поскольку использование этого оборудования в промышленности будет ограничиваться уровнями электромагнитного излучения в рабочей зоне при испытаниях на максимальной ступени мощности сварочного трансформатора с различными комбинациями установок регулятора цикла сварки.

При превышении регламентируемых ДСН 3.3.6.096-2002 уровней электромагнитных излучений и недостаточности технологических мер по их снижению производственники должны обязательно применять такие известные дополнительные меры защиты работающих, как надлежащая организация рабочего места, предусматривающая защиту расстоянием, временем пребывания в опасной зоне, экранированием сварочного оборудования.

1. Weman K. Health hazards caused by electro-magnetic fields during welding // Svetsaren. — 1994. — 48, № 1. — P. 2.
2. Bourton M. A review of arc welding and electromagnetic compatibility. — [1995]. — 5 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. VIII-G100-95).
3. Epstein R. Electromagnetic fields: how big a problem in Europe? — [1995]. — 6 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. VIII-C108-95).
4. Couderc M. P. Notes on magnetic fields in welding. — [1999]. — 24 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. VIII-99).
5. ДСН 3.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. — К.: Мін-во охорони здоров'я, 2002. — 16 с.
6. СН 3206-85. Предельно допустимые уровни магнитных полей частотой 50 Гц. — М., 1986. — 7 с.
7. Харкевич А. А. Спектры и анализ. — М.: Физматгиз, 1962. — 236 с.
8. Исследование напряженности магнитного поля при контактной сварке / Л. П. Чулошников, А. А. Чалев, Б. Д. Орлов, В. Н. Павлов // Электротехн. пром-сть. Сер. Электросварка. — 1980. — Вып. 3. — С. 5-6.
9. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. — М.: Мир, 1989. — 540 с.

Поступила в редакцию 01.11.2007