

ОЦЕНКА НОРМАТИВНОГО И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОГРАНИЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ НА ЗДОРОВЬЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ

Третьякова Лариса, Мітюк Людмила

В настоящее время проблема электромагнитной безопасности и ограничение влияния электромагнитных полей (ЭМП) промышленной частоты на человека и окружающую среду приобрели актуальное и социальное значение на международном и национальных уровнях. В первую очередь это обусловлено дополнительными сведениями об отрицательном влиянии ЭМП на людей, которые выполняют свои профессиональные обязанности. Источниками мощных ЭМП промышленной частоты являются воздушные линии (ВЛ), открытые распределительные устройства (ОРУ), оборудование трансформаторных подстанций напряжением 110–750 кВ. Параметры ЭМП и объем ионов, вызванный короной проводов и арматурой ВЛ, зависят от класса напряжения, конструктивных особенностей и геометрических размеров опор и проводов. В ходе эксплуатации электрических сетей определенные объемы профилактически-ремонтных и послеаварийных работ могут осуществляться под напряжением: профилактика масляных выключателей, проверка и наладка систем релейной защиты, проверка изоляции коммутационных цепей, измерения сопротивлений заземляющих устройств, проверка и замена изоляторов. Потребность в выполнении таких работ вызвана ограниченным количеством или отсутствием резерва отдельных элементов системы, а также невозможностью длительного отключения потребителей электроэнергии. При выполнении работ на элементах и вблизи открытых электроустановок под напряжением, работники находятся в зоне повышенного воздействия ЭМП промышленной частоты.

Цель исследования и постановка задачи. Оценка состояния международного и национального нормативно-правового обеспечения и разработка средств индивидуальной защиты для электротехнических работников с целью ограничения влияния электромагнитного поля промышленной частоты.

Анализ современного состояния вопроса. Исследования, проведенные в последние годы показали, что механизм воздействия ЭМП на человека обусловлено образованием внутренних ЭМП и связанных с ними электрических токов. Уровень влияния зависит от электрических и магнитных свойств органов и тканей тела человека, ориентации тела относительно векторов напряженности электрического (ЭП) и магнитного (МП) полей, а также от расстояния до электроустановок, длительности воздействия и наличия средств защиты. Напряженность ЭП пропорциональна напряжению электротехнического оборудования и обратно пропорциональна расстоянию до предмета воздействия. Внешнее ЭП влияет на заряды в теле человека и это приводит к протеканию токов во внутренних тканях и возникновению дополнительных внутренних МП. Измеренные значения токов, протекающих через тело работника, который находится в открытом распределительном устройстве 500 кВ и имеет контакт с землей (через обувь) или с заземленными частями оборудования, составляют 130 ... 250 мкА. Во время нахождения работника на опоре линии передач 500 кВ на уровне провода токи достигают 500 ... 600 мкА [1].

Напряженность внешнего МП пропорциональна току, протекающему по токоведущим частям электроустановок, и обратно пропорциональна расстоянию до них. Величина тока в действующих электроустановках имеет тенденцию к постоянному изменению, поэтому влияние МП не является постоянным. В случае попадания человека под влияние внешнего

переменного МП в теле возникают согласованные элементарные токи, которые образуют собственные МП. Самым опасным является случай, когда вертикальная составляющая вектора напряженности МП пересекает грудную клетку. Так, МП с уровнем напряженности 100 А/м вызывает протекание тока через жизненно важные органы человека с плотностью 120 мкА/м² (70 мкА). ЭП промышленной частоты характеризуется слабым проникновением в тело человека, в то время для МП ткани человека практически прозрачны.

Ранее профессиональная вредность оценивалась величиной напряженности ЭП, так как максимальный ток в теле человека, индуцированный воздействием ЭП, намного больше, чем ток, обусловленный переменным МП. Однако сейчас результатами исследований подтверждена биологическая активность воздействия МП промышленной частоты, которая зависит от интенсивности и длительности действия, имеет кумулятивный и скрытый период действия с пролонгацией во времени на последующие поколения.

Учитывая важность рассмотренной проблемы World Health Organization (WHO) ввела понятие «глобальное электромагнитное загрязнение окружающей среды». Вопросы влияния ЭМП на окружающую среду и элементы экосистемы в 1998 году включены в долгосрочную программу WHO «WHO International EMF Project», заданием которой является разработка глобальных оценок, рекомендаций и нормативных ограничений биологического влияния ЭМП.

Сейчас в мировой практике нет однозначных норм по ограничению воздействия ЭМП частотой 50 Гц. Влияние ЭМП на человека и его нормативные ограничения определяются стандартами The International Electrotechnical Commission (IEC) [2]. Наиболее обоснованными и полными являются Нормы CEU ENV50166, предложенные Техническим комитетом European Committee for Electrical Standardization (CENELEC), которые является правовым документом для защиты работников от воздействия ЭМП на рабочих местах. В нормативных документах предусмотрены ограничения и соответствующие контролируемые уровни для следующих показателей: плотность индукционного тока (J); удельная поглощённая мощность (SAR) и плотность потока энергии (S). International Commission on non-ionizing Radiation Protection разработала первые нормативные документы по регламентации влияния МП.

В общем случае параметром, определяющим степень воздействия ЭМП промышленной частоты на организм, является плотность наведенного в теле человека тока. По результатам экспериментальных медико-биологических исследований установлено предельно допустимую плотность наведенного тока в теле человека (табл. 1).

Таблица 1
Биологические эффекты воздействия ЭМП

Плотность тока, j , мА/м ²	Биологические эффекты воздействия
1 – 10	Минимальные эффекты, которые не представляют опасности
10 – 100	Выраженные эффекты: зрительные и со стороны нервной системы
100 – 1000	Стимуляция возбудимых структур (мышечная и нервная) ткани, возможно неблагоприятное воздействие на здоровье
>1000	Возможна экстрасистолия, фибрилляция сердца (острое поражение)

В большинстве международных стандартов для установления допустимых уровней параметров ЭМП принято, как безопасную для организма, плотность тока величиной 10 мА/м², которая используется для определения предельных параметров ЭМП. Рекомендованные или нормативные значения в отдельных категориях определяют с учетом коэффициентов запаса. При определении условий труда на производстве коэффициенты запаса устанавливают на уровне 2,5...3,5, для населения нормы разрабатывают с коэффициентами запаса 10...12. Превышение нормированных уровней напряженности в реальных производственных условиях, но не выше допустимых уровней, возможно при

соответствующих временных ограничениях их действия, а также при условии применения соответствующих средств индивидуальной защиты (СИЗ).

Результаты исследований. Для переменного тока промышленной частоты за базовое значение принята плотность тока 10 мА/м^2 , которому соответствуют напряженности ЭП $E = 20 \text{ кВ/м}$ и МП $H = 4 \text{ кА/м}$ соответственно.

В Украине действуют нормы и правила, которые устанавливают требования в отношении сотрудников, занимающихся эксплуатацией, обслуживанием и ремонтом токоведущих частей электроустановок [3, 4]. На основании санитарно-гигиенических исследований определены границы вредного воздействия ЭМП, то есть такого воздействия, при котором в организме человека происходят изменения жизненных процессов, выходящие за пределы допустимых отклонений. Установлено допустимый уровень плотности потока энергии w в зависимости от длительности воздействия ЭМП в течение рабочей смены (табл. 2).

Таблица 2
Предельно допустимая плотность потока энергии ЭМП

Время воздействия ЭМП на работника, час	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,25	0,20
Плотность потока энергии, мкВт/см ²	25	29	33	40	50	67	100	200	400	800	1000

Значение потока энергии $S_{\text{п}}$, которое поглощается телом работника, находящегося в зоне влияния ЭП, определяют по формуле:

$$S_{\text{п}} = P_{\text{п}} \cdot t_{\text{доп}} = SAR \cdot m_{\text{п}} \cdot t_{\text{доп}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{п}}$ – поглощена мощность, Вт; SAR – значение плотности поглощенной мощности, Вт/кг; $m_{\text{п}}$ – масса тела работника, кг; $t_{\text{доп}}$ – допустимое время пребывания в ЭМП, год. SAR при общем облучении тела работника установлен на уровне $0,4 \text{ Вт/кг}$, для локального облучения конечностей – 10 Вт/кг (головы) и 20 Вт/кг (рук и ног).

Как критерий безопасности для работников, находящихся в ЭМП промышленной частоты, как правило, используют показатели напряженности поля в месте нахождения. Обычно в производственных условиях используют измерительные приборы, измеряющие напряженность поля, а не ток через человека или энергию, поглощенную телом. Характеристики ЭП и МП с определенными допущениями [5] можно определить по формулам:

$$E = \frac{U}{k \cdot f}; \quad B = \frac{J}{\pi \cdot R \cdot \gamma \cdot f}; \quad H = \frac{B}{\mu}, \quad (2)$$

где E – напряженность ЭП, В/м; B – магнитная индукция, Тл; H – напряженность МП, А/м; k – коэффициент; f – частота, Гц; R – радиус объекта, м; γ – проводимость объекта, 1/Ом; μ – магнитная проницаемость среды.

Уровень напряженности ЭП, который создают ВЛ, зависит от конструктивных параметров: диаметра и количества проводов, расстояния между ними, высоты их над поверхностью земли. Наибольшее значение напряженности ЭП регистрируют во время пребывания работника непосредственно под проводами в центре между опорами. По мере удаления от оси линии и ближе к опорам уровни напряженности поля снижаются. Уровень напряженности МП зависит от нагрузки линии. Поскольку нагрузка неоднократно меняется в течение суток и времен года, то размеры зоны повышенного уровня МП также меняются. Кабельные линии создают несколько больше уровни напряженности, чем ПЛ, однако напряженность ЭМП уменьшается быстрее при удалении от кабеля, и зона ощутимого поля обычно не превышает нескольких десятков метров. Кабели и воздушные линии среднего напряжения (6, 10, 20 кВ) при относительно малых расстояниях между фазами создают невысокие напряженности ЭМП, которые, как правило, не превышают 5 кВ/м и $0,6 \text{ кА/м}$. ЭМП

трансформаторов и других электроустановок систем электроснабжения меняется обратно пропорционально расстоянию до объекта облучения.

В ходе экспериментальных исследований с использованием анализатора поля EFA-3 (фирма «Wandel & Goltermann», Германия) определены параметры ЭМП электроустановок промышленной частоты (табл. 3).

Таблица 3

Напряженности электрического и магнитного полей промышленной частоты, которые создают линии электропередач и подстанции

Уровень напряжения, кВ	Место замера электромагнитного поля	Значение напряженности ЭП, E , (кВ/м)	Значение напряженности МП, H , (кА/м)
500	Под ПЛ средней фазы	6...10	35...40
220–330	Под ПЛ	6...8,5	28...36
220–330	На расстоянии 150 м от ПЛ	2,3...4,5	3,2...4,1
110	Под ПЛ	0,45...0,75	12...16
35	Под ПЛ	0,2...0,3	0,8...0,82
220–330	Открытые электрические подстанции	0,18...0,42	0,1...0,2

Современные системы электроснабжения промышленной частоты перегружены нелинейными источниками и потребителями, что обуславливает наличие высших гармоник в фазных токах и соответственно наличие ЭМП высших гармоник. Результаты экспериментальных измерений показали наличие существенных уровней с третьей до пятнадцатой гармоник (табл. 4).

Таблица 4

Гармоничный состав напряженности электрического поля воздушной линии

номер гармоники	Напряженность электрического поля, В/м		
	ПЛ 500 кВ	ПЛ 220–330 кВ	ПЛ 110 кВ
1	8300	4700	1080
3	63,1	26,8	30,4
5	50,4	29,1	6,4
7	9,1	5,8	5,3
9	1,6	1,1	1,1

Наличие токов высших гармоник создает дополнительный уровень напряженности, который определен по формуле:

$$E = \sqrt{E_{(1)}^2 + E_{(3)}^2 + \dots E_{(n)}^2}, \quad (3)$$

где $E_{(1)}$ – напряженность ЭП основной частоты; $E_{(3)}$ – напряженность ЭП частотой 150 Гц $E_{(n)}$ – напряженность ЭП частотой $(n \cdot 50)$ Гц; n – номер высшей гармоники, $n = 15$.

Установлено, что фактический уровень напряженности ВЛ с учетом высших гармоник увеличивается до 4,5 % по сравнению с основной частотой.

При максимальной напряженности ЭМП ток через тело работника достигал 180 ... 230 мкА, при минимальной – 30 ... 40 мкА. Во время работ в открытых распределительных устройствах (ОРУ) 500 кВ максимальное значение тока в теле работника зафиксировано 250 мкА, среднее – 130 мкА, в ОРУ 750 кВ – соответственно 350 мкА и 180 мкА.

Такие показатели существенно превышают допустимые нормы и нужно внедрять мероприятия по их снижению. В соответствии со стандартами ИЕС условия труда и нормы напряженности ЭМП промышленной частоты на рабочих местах разделяют на три категории.

Работа в условиях первой категории (до 6,1 кВ/м и 1,6 кА/м) предусматривает обязательную информацию работников об опасности воздействия ЭМП. Вторая категория работ (до 12,3 кВ/м, 3,20 кА/м) обязательно связана с мерами по ограничению продолжительности воздействия ЭМП. Третья (19,6 кВ/м и 4,8 кА/м и выше) категория считается опасной, предусматривающая обязательное применение СИЗ с предупреждением: «опасная работа». Для населения базовые значения напряженности в большинстве зарубежных рекомендаций принимают в 2,5 раза меньше, чем на рабочих местах.

К основным способам защиты работников от воздействия ЭМП промышленной частоты относятся меры организационного характера: ограничение времени пребывания в зоне воздействия ЭМП, уточнение размеров санитарно-защитных зон, в которых интенсивность излучения не превышает предельно допустимых норм, а также комплекты СИЗ (экранирующая одежда, обувь, СИЗ рук головы и глаз).

Экранирующая одежда, которая применяется, изготовлена из хлопчатобумажного полотна с микропроволокой и имеет ряд существенных недостатков. [6]. Предложено изготавливать защитную экранирующую одежду из композиционных текстильных двухслойных или трехслойных материалов. Для ограничения влияния ЭМП материал должен иметь высокую электропроводность и магнитную проницаемость. Для одежды использован двухслойный материал, который состоит из нетканого полипропиленового полотна (внутренний слой) и слоя углеродно-волокнутого материала (внешний слой). В трехслойном материале для внутреннего слоя используется нетканое полиэстеровое полотно, средний слой составляет углеродно-волокнустый материал, а внешний слой – хлопчатобумажная или полиэфирная ткань с поверхностной плотностью до 80 г/м². Полипропиленовое (полиэстеровое) полотно имеет электрическое сопротивление $10^8 \dots 10^{10}$ Ом и используется в качестве изолирующего слоя. Углеродные волокна имеют малое электрическое сопротивление в пределах (12 ... 25) мОм и являются токопроводящими составляющими материала. Третий слой можно использовать для повышения механических характеристик одежды и предотвращения повреждения токопроводящего слоя.

Плотность потока энергии W_{π} , которая проникает и поглощается единицей поверхности, равна

$$W_{\pi} = W_0(1 - \rho), \quad (4)$$

где $W_0 = w \cdot S_{\text{эф}}$ – падающая на тело человека энергия ЭМП; $S_{\text{эф}}$ – эффективная поверхность тела человека; ρ – коэффициент отражения на уровне воздух-кожа составляет 0,75 ... 0,85 при частоте 50 Гц. В ходе использования плотность поглощенной энергии не должна превышать допустимых значений.

Защита работника в экранирующем комплекте происходит следующим образом: при прохождении волны через первый токопроводящий слой происходит частичное поглощение и отражение волны. Далее волна, проходя через слой нетканого материала, частично поглощается и происходит дальнейшее ее ослабление.

Индивидуальные экранирующие комплекты предназначены для защиты от воздействия ЭМП работников, осуществляющих работы в открытых электроустановках напряжением 110–500 кВ. Предложенные виды защитной одежды состоят из костюма (удлиненная куртка и штаны) или комбинезона прямого силуэта с капюшоном. К конструктивным особенностям защитной одежды относится отсутствие карманов, застежек, пуговиц и фурнитуры, за которые можно зацепиться в ограниченном пространстве специальной, изолированной люльки, которая подводится к рабочему месту. Конструкцией комбинезонов и курток предусмотрено капюшоны с плотным прилеганием к лицу. Минимальный риск загрязнения работника, легкость для одевания и снятия куртки и комбинезона достигается применением центральной двойной закрытой застежки «молния» для защиты щитовидной железы, грудной клетки и брюшной полости. В куртке предложено цельнокроеный рукав, который сократит нагрузку на линию проймы и позволит работнику свободно поднимать и опускать руки. Применен фиксатор для большого пальца в рукавах куртки и комбинезона и штрипки по низу брюк для фиксации деталей изделия во время движения (рис. 1). Защитная одежда одевается на белье, а

для хорошего контакта тела человека с токопроводящей основой, предусмотрено токопроводящие манжеты одежды, плотно охватывают руки выше кистей. Обеспечена совместимость защитной одежды с СИЗ рук (перчатками) и ног (кожаные ботинки или сапоги из токопроводящего материала), предназначенными для совместного использования. Поверх капюшона можно использовать каску из изолирующего материала с токопроводящим напылением.

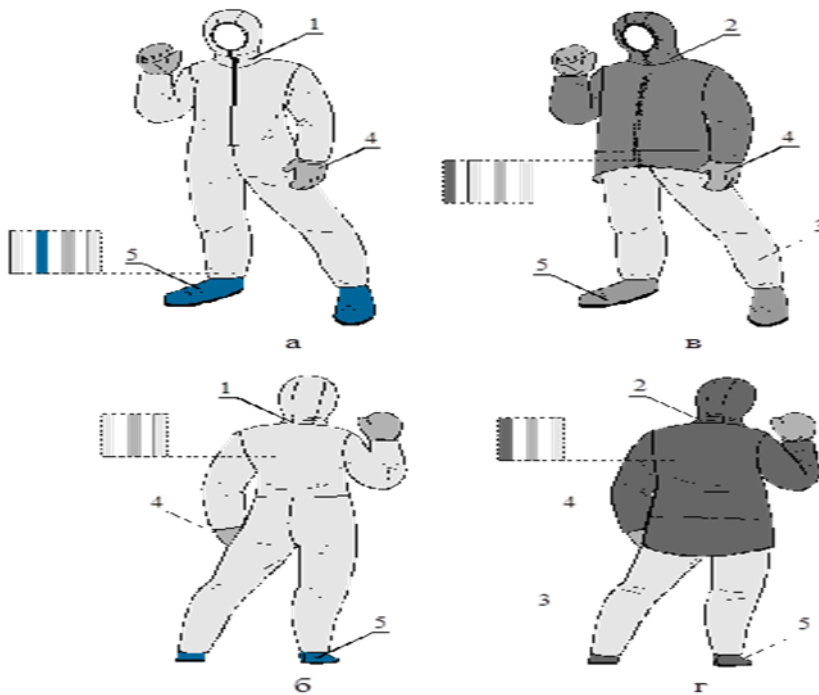


Рисунок 1.

Проектно-конструктивные решения изделий экранирующего комплекта: вид спереди (а в) и сзади (б, г) с зональным расположением пакетов материала: 1 – комбинезон; 2 – куртка; 3 – брюки, 4 – перчатки, 5 – обувь.

При использовании комплекта все его элементы соединены токопроводящими тесемками. Для защиты работника во влажную погоду разработана накидка с поливинилхлоридного пластика. Эффективность экранирующего комплекта определяется коэффициентом экранирования, который показывает, во сколько раз снижается ток, протекающий через человека под влиянием ЭМП. Испытания опытного образца в лабораторных условиях показали снижение тока не менее чем в четыре раза.

Выводы

1. Рекомендованные Международными организациями нормы о влиянии электромагнитного поля промышленной частоты ограничивают плотность тока во внутренних органах работника на уровне 10 мА/м^2 . Току такой плотности соответствуют напряженность электрического поля до 20 кВ/м и напряженность магнитного поля до 4 кА/м .
2. Действующие национальные стандарты требуют совершенствования и дополнения с учетом новейших разработок международных организаций. Так, например, действующие требования по ограничению магнитного поля в Украине имеют временный характер и требуют дальнейшего нормативно-правового определения.

3. Предложен новый вид экранирующего комплекта, изготовленный из двухслойного композиционного материала, который, имеет улучшенные защитные свойства, высокий уровень надежности и эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Знак, 2003.– 440 с.

2 IEC 62226-1:2004. Exposure to electric or magnetic fields in the low and intermediate frequency range - Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body. – Part 1: General.

3 ДСНіП 476-2002. Державні санітарні норми і правила під час роботи з джерелами електромагнітних полів. – К.: Держстандарт, 2002. – 18 с.

4 ДСанПіН 198-97. Державні санітарні норми і правила при виконанні робіт в невимкнених електроустановках напругою до 750 кВ включно. – К.: Держстандарт, 1997. – 38 с.

5 СОУ-Н ЕЕ 20.179:2008. Розрахунок електричного і магнітного полів лінії електропередавання. Методика. – К.: Міністерство палива та енергетики України, 2008. – 33 с.

6 Кутин В. М. Защитные свойства экранирующих комплектов для работ под напряжением на линиях электропередач 330–750 кВ / В. М. Кутин, Е. А. Бондаренко // Электричество. – 1993, № 11. – С. 20–26.