

СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ФИЗИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**5.1. Снижение влияния электрических и магнитных полей промышленной частоты на человека****5.1.1. Биологическое действие электромагнитных полей промышленной частоты**

Мисриханов М.Ш. и Токарский А.Ю., ОАО МЭС Центра; Рубцова Н.Б., ГУ НИИ медицины труда РАМН

Вопрос о возможности неблагоприятного влияния ЭП на человека был впервые поставлен советскими исследователями в начале 60-х годов XX в. в связи с появлением у персонала, обслуживающего подстанции (ПС) и ВЛ напряжением 400 и 500 кВ, жалоб на головную боль, вялость, повышенную утомляемость, раздражительность, сонливость, нарушения деятельности сердечно-сосудистой системы и желудочно-кишечного тракта. Все это послужило основанием для начала систематического изучения состояния здоровья лиц, подвергающихся производственным воздействиям ЭМП ПЧ. Причем на начальном этапе исследований основное внимание уделялось только ЭП ПЧ, а возможное влияние на организм человека МП ПЧ полностью игнорировалось.

Систематическое изучение состояния здоровья лиц, подвергающихся воздействиям ЭМП ПЧ было начато еще в 60-е годы в нашей стране, когда впервые были проведены обследования персонала, обслуживающего подстанции напряжением 220, 330, 400, 500 кВ [1, 2, 4, 6—8 и др.]. В этих работах, выполненных специалистами Харьковского НИИ гигиены труда, Киевского НИИ общей и коммунальной гигиены, ЛИОТ, был отмечен ряд неблагоприятных изменений состояния здоровья персонала. У работающих на ПС напряжением 400, 500 кВ отмечалось наличие жалоб неврологического характера (головная боль, вялость, повышенная утомляемость, сонливость), а также на нарушения деятельности сердечно-сосудистой системы и желудочно-кишечного тракта. Указанные жалобы сопровождались некоторыми функциональными расстройствами нервной и сердечнососудистой систем в форме вегетативной дисфункции, склонностью к тахи- или брадикардии, артериальной гипертензии или гипотонии. Отмечалось также увеличение времени зрительно-моторной реакции, повышение порогов обонятельной чувствительности, снижение памяти, внимания, урежение пульса. Изменения в составе периферической крови выражались в умеренной тромбоцитопении, нейтрофильном лейкоцитозе, лимфоцитозе, моноцитозе, тенденции к ретикулопении, снижению гемоглобина и числа эритроцитов, замедлении скорости оседания эритроцитов. Сходные данные были получены в исследованиях на добровольцах.

Однако в этих исследованиях не анализировалась зависимость указанных отклонений в состоянии здоровья от интенсивностно-временных характеристик ЭМП ПЧ. Контроль уровней электрической составляющей производился лишь в единичных случаях, магнитной — не осуществлялся вообще.

Первые отечественные публикации послужили основанием для проведения ряда аналогичных исследований в США, Канаде, Испании, Франции и других странах, выполнявшихся также без гигиенической оценки действующих на рабочих факторов производственной среды. В этих исследованиях чаще не обнаруживались значи-

мые изменения состояния здоровья у лиц, профессионально связанных с эксплуатацией и обслуживанием электросетевых объектов.

Тем не менее, выполненный в 80—90-е годы XX в. в ГУ НИИ МТ РАМН комплекс исследований по клинико-физиологическому анализу состояния сердечнососудистой, нервной, иммунной систем лиц, осуществляющих эксплуатацию электросетевых объектов, с оценкой их экспозиционной нагрузки к ЭП и МП ПЧ позволил с достаточной степенью вероятности обосновать повышенный риск потери ими здоровья [6, 13]. Эти данные в 1991 г. послужили основанием для вывода ряда категорий персонала, обслуживающего электросетевые объекты (электромонтеров линейной службы, электрослесарей по обслуживанию ОРУ СВН и испытателей высоковольтного оборудования), на льготные условия по выходу на пенсию.

Несмотря на то что большинство западных исследователей до настоящего времени отрицают вероятность риска нарушения здоровья у лиц, подвергающихся профессиональным воздействиям ЭМП ПЧ, в последние 20—25 лет в литературе Великобритании, США, Швеции и других стран появились публикации, в которых отмечалась возможность возникновения онкологических заболеваний у лиц, подвергающихся воздействиям ЭМП ПЧ как в условиях производства, так и в местах их проживания [15—18, 20—23 и др.]. Причем в этих исследованиях основное внимание уделялось возможному преобладающему влиянию не электрической, а магнитной составляющей ЭМП. Начиная с первой публикации американских ученых Wertheimer & Leeper [23] в 1979 г., в которой был поставлен вопрос о возможном канцерогенном влиянии производственных и внепроизводственных воздействий ЭМП ПЧ, преимущественно МП ПЧ, на человека, опубликованы данные более чем 100 работ, ставящих вопрос о возможном риске развития лейкозов (лейкемий) у лиц так называемых «электрических профессий» (табл. 5.1). В последние годы в зарубежной литературе появились также данные о вероятности развития у работающих отдельных форм нейродегенеративных заболеваний [19, 21].

В настоящее время все более высокую актуальность представляет вопрос о возможном неблагоприятном (вплоть до канцерогенного) влиянии магнитной составляющей ЭМП ПЧ, создаваемой постоянно действующими источниками, на население, главным образом детское. В то же время, если в одних работах отмечается повышенный риск развития у детей лейкозов, данные других эпидемиологических исследований свидетельствуют об отсутствии корреляции между внепроизводственными воздействиями МП крайне низких уровней и развитием заболеваний онкологической природы (табл. 5.2).

Таблица 5.1. Риск развития лейкозов в результате производственных воздействий ЭМП в США (по данным, обобщенным J. Goldsmith [17])

Профессия	Относительный риск (RR)	95 %-ный доверительный ин-
Операторы телеграфа, радио- и радиолокационных станций	1,8*	1,4...2,6
Техники-электронщики	1,3	0,9...1,8
Инженеры электрики и электронщики	1,2	1,0...1,5
Электрики	1,1	0,9...1,2
Сборщики электрооборудования	2,4	1,0...4,8
Операторы электрических подстанций	1,6	0,8...3,0
Линейный персонал	1,3	1,0...1,6
Персонал по ремонту и установке телефонов	0,9	0,6...1,3
Рабочие алюминиевой промышленности	1,9*	1,2...2,9
Водители городского транспорта, трамвая	1,7	0,7...3,3
Осветители киностудий	1,1	0,5...2,2
Сварщики	0,9	0,7...1,2
Всего	1,2*	1,1...1,3

* Вероятность $p < 0,05$.

Таблица 5.2. Риск развития лейкемии у детей и взрослых при внепроизводственном воздействии ЭМП ПЧ

Автор, год	Группа	Метод	ОР/ПР (95 % ДИ)*
Wertheimer & Leeper, 1979 г.	Дети, 344 случая, контрольная группа — 344 человека Проживание вблизи электрических систем со сложной конфигурацией	Случай—контроль	3,0 (1,8...4,9)
Fulton et al., 1980 г.	Дети	То же	1,1 (0,7...1,6)
Tomenius, 1986 г.	Канцер Регистр, Швеция, 716 случаев рака, проживание вблизи источников МП ПЧ	»	1,1 (0,3...4,6)
McDowall, 1986 г.	Проживание вблизи электропередающих устройств, смертность, взрослые	»	1,0 (0,4...2,2)
Savitz et al., 1988 г.	Дети, проживание вблизи электрических систем со сложной конфигурацией	»	2,8 (0,9...8,0)
Severson et. al., 1988 г.	Проживание вблизи ВЛ, взрослые	»	1,0
Coleman et al., 1989 г.	Проживание вблизи трансформаторных ПС, дети, 84 случая, контрольная группа — 141 человек, взрослые	»	1,6 (0,3...9,8) 1,3 (0,8...2,0)
London et al., 1991 г.	Дети, Лос-Анджелес, проживание (измерения)	»	2,2 (1,1...4,3) 1,7 (0,6...3,3)
Youngson et al., 1991 г.	Проживание вблизи ВЛ, взрослые	»	1,2 (0,6...1,9)
Feuchting & Ahlbom, 1993 г.	Швеция, проживание (измерения)	»	2,7 (1,0...6,3) 0,65 (0,2...1,9)
Olsen et al., 1993 г.	При магнитной индукции 0,4 мкТл более значительное повышение риска (достоверность не известна)	—	—
Verkasalo et al., 1993 г.	Хроническое воздействие, общий рак, при магнитной индукции 0,3 мкТл и более риск 1,5 (доверительный интервал не приведен)	—	—
Tikhonova et al., 1999 г.	Население, проживающее вблизи энергообъекта; 1971—1990 гг. Все члены когорты: 50 460 человеко-лет	Ретроспективное когортное	1,3 (0,2...7,0)
Tikhonova et al., 1999 г.	Дети родителей, подвергающихся производственным воздействиям ЭМП ПЧ, 208 случаев, контрольная группа — 319 человек	Случай—контроль	1,9 (статистически незначимое)

* ОР — относительный риск; ПР — показатель риска; ДИ — доверительный интервал.

Несмотря на относительную противоречивость этих данных, IARC в 2002 г. отнес МП ПЧ к категории 2b — «условных канцерогенов» для детского населения, что послужило основанием для Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в рамках меморандума программы «Электромагнитные поля и здоровье человека» выступить с предложением максимального (до уровня технической достижимости) ограничения уровней МП ПЧ, создаваемых постоянно действующими его источниками, в местах проживания населения «в связи с вероятностью их канцерогенного влияния и недостаточной изученностью вопроса» [24].

Для выявления степени и характера воздействия ЭМП ПЧ на человека, биологические объекты и окру-

жающую среду электрическую и магнитную составляющие принято рассматривать отдельно. Это связано с длиной волны (для частоты 50 Гц — 6000 км). Для человека, помещенного вблизи источника ЭМП ПЧ, расстояние от источника до точки наблюдения мало по сравнению с длиной волны. В этом случае ЭП и МП практически не зависят одно от другого. Электрическое поле возбуждается только зарядами, а МП — только токами. При этом в каждый момент времени в каждой точке пространства, удовлетворяющей условию $R \ll \lambda$, мгновенное значение напряженности ЭП (МП) соответствует мгновенному значению распределения зарядов (токов). По величине и направлению они такие же, как если бы распределение зарядов (токов) было постоянным. При

выполнении этого условия говорят, что точка наблюдения находится в ближней зоне. В рассматриваемом случае практически нет электромагнитного излучения, а есть независимые одна от другой квазистатические переменные ЭП и МП. Поэтому объект, находящийся в таком ЭМП, подвергается как бы отдельно воздействию ЭП и МП. Так как физические механизмы взаимодействия ЭП и МП с помещенным в них телом разные, единственным путем адекватного решения вопроса при оценке электромагнитной обстановки вблизи источников ЭМП ПЧ является определение электрической и магнитной составляющих напряженности в отдельности.

Взаимодействие внешних ЭМП с биологическими объектами осуществляется путем наведения внутренних полей и электрических токов, величина и распределение которых в теле человека зависят от целого ряда параметров, таких как размер, форма, анатомическое строение тела, электрические и магнитные свойства тканей (электрическая/магнитная проницаемость и электрическая/магнитная проводимость), ориентация объекта относительно поляризации тела, а также от характеристик ЭМП.

Согласно современным представлениям в основе механизма биологического действия ЭМП (50 Гц) лежит влияние наведенного под их воздействием электрического тока на возбудимые структуры (нервную, мышечную ткани). Параметром, определяющим степень воздействия, является плотность наведенного в теле вихревого тока. При этом для ЭП рассматриваемого диапазона частот характерно слабое проникновение в тело человека, для МП организм практически прозрачен. Плотности наведенного тока j могут быть рассчитаны по формулам [25]: для ЭП

$$j = kfE,$$

где f — частота; E — напряженность ЭП; k — коэффициент, зависящий от вида ткани; для МП

$$j = \pi R \sigma B,$$

здесь B — магнитная индукция; R — радиус критического органа; σ — проводимость ткани.

Расчет наведенных МП ПЧ токов с учетом трехкоординатного их распределения внутри тела и наличия в его модели около 100 тыс. элементов (с позиций варибельности проводимости) позволяет уточнить общую формулу зависимости плотности наведенного МП тока от вышеупомянутых параметров, которая будет с учетом эллипсоидной формы модели тела человека иметь следующий вид [26]:

$$j = \mu_0 \pi f \sigma H \frac{2ab}{a+b},$$

где μ_0 — магнитная проницаемость; f — частота; σ — проводимость ткани; H — напряженность МП; a и b — длина минимальной и максимальной осей эллипса.

Имеются данные о степени и выраженности различных реакций организма человека на действие ЭП и МП в зависимости от плотности вихревого тока [17, 27 и др.] — от пороговых реакций нервной ткани до остановки сердца и дыхательного тетануса (табл. 5.3).

Кроме того, установлены ориентировочные пороги сенсорного восприятия ЭП частотой 50 Гц и их зависимость от индивидуальных параметров и от ориентации человека в пространстве и по отношению к источнику действующего ЭП (табл. 5.4).

В исследованиях на добровольцах также получены данные, свидетельствующие либо об отсутствии, либо о наличии незначительных и преимущественно неспеци-

фических реакций организма человека при однократных и относительно непродолжительных воздействиях ЭП и МП частотой 50 Гц (табл. 5.5).

Таблица 5.3. Уровни плотности наведенных ЭП и МП в теле человека вихревых токов и реакции организма

Плотность тока, мкА/см ²	Биологические эффекты
0,1	Отсутствие реакций нервной системы на клеточном уровне
Примерно 1	Явление электро- и магнитофосфенов. Наличие реакции мозговых тканей. Продукция мембранного потенциала 0,1 мВ (миниатюрные потенциалы)
10...50	Пороги стимуляции сенсорных рецепторов и нервных и мышечных клеток. Возможность вредного действия
Более 100	Вероятность фибрилляции желудочков сердца. Возможность остановки сердца, дыхательного тетануса

В целом представленные выше данные свидетельствуют о том, что нельзя отрицать риск развития неблагоприятных изменений состояния здоровья как у лиц, подвергающихся производственным воздействиям ЭМП ПЧ, так и у населения.

Таблица 5.4. Наличие ощущений и раздражение человека при пребывании в ЭП частотой 50 Гц (исследования на добровольцах) [30]

Напряженность ЭП, кВ/м	Наличие ощущений, % обследованной группы			Раздражение, % обследованной группы		
	А	В	С	А	В	С
5	4	8	20	0	0	1
10	7	20	40	0	0	1
15	15	35	60	0	1,5	1,5
20	25	55	80	1	2	3
25	50	80	95	3	3	3

Примечание. А — обе руки вдоль тела; В — одна рука расположена горизонтально; С — то же над головой.

Таблица 5.5. Реакции организма человека при воздействии ЭП и МП частотой 50 Гц (исследования на добровольцах) [29]

Интенсивность ЭП, кВ/м		МП, мТл	Время воздействия, ч	Реакции
1; 15; 20	—			
1; 15; 20	—	—	До 2	Изменение времени реакции (в пределах физиологической нормы). Изменение ЧСС (в пределах физиологической нормы)
20	0,3	—	3	Отсутствие влияния на время реакции и ЭЭГ
1; 15	—	—	2	Отсутствие влияния на ЧСС, АД
20	0,3	—	2	Отсутствие влияния на АД, ЧСС, ЭКГ
20	—	—	до 8,5 ч и 60—90 мин после 4 ч отдыха	Изменения АД, ЧСС

Примечание. ЧСС — частота сердечных сокращений; ЭЭГ — электроэнцефалограмма; АД — артериальное давление; ЭКГ — электрокардиограмма.

Для адекватной оценки уровней факторов электромагнитной природы, действующих на работающих при эксплуатации электросетевых объектов, могут использоваться расчетные и инструментальные методы.