ГИГИЕНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

УДК 613.6.621

Н.Б. Рубцова[1], А.Ю. Токарский[2], Н.В. Лазаренко[1], Т.Г. Самусенко[1]

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ ПЕРСОНАЛА ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ОБЪЕКТОВ И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ

[1]ГУ НИИ медицины труда РАМН (Москва)
[2]Филиал ОАО «ФСК ЕЭС» – Магистральные электрические сети Центра (Москва)

Представлен анализ состояния вопроса гигиенической оценки уровней электрических и магнитных полей (ЭП и МП) промышленной частоты (ПЧ) на электроэнергетических объектах. Показано, что адекватная гигиеническая оценка электрического и магнитного полей может быть достигнута с использованием расчетных и инструментальных методов оценки уровней ЭП и МП и применения метода «условной дозиметрии» — расчета экспозиционных нагрузок фактора на различные категории персонала с учетом уровней и времени воздействия. Приведен пример такой оценки для рабочих мест различных категорий персонала, обслуживающего открытые распределительные устройства и воздушные линии электропередачи 500 кВ.

Ключевые слова: электромагнитное поле промышленной частоты, рабочее место, электросетевой объект, гигиеническая оценка

METHODICAL PRINCIPLES OF HYGIENIC ASSESSMENT OF ELECTROMAGNETIC FIELDS OF INDUSTRIAL FREQUENCIES AT THE WORKING PLACES OF THE ELECTRICAL MAIN CENTRES AND THEIR REALIZATION

N.B. Rubtsova[1], A.Yu. Tokarski[2], N.V. Lazarenko[1], T.G. Samusenko[1]

[1]State Research Institute of Labour Medicine, RAMS, Moscow
[2]Branch of Joint-Stock «FSK EES» – Magistral Electrical Central Mains, Moscow

Hygienic evaluation of power frequency electric and magnetic field (EF and MF) in power network enterprise problem analysis is submitted. It is shown, that electric and magnetic field adequate hygienic evaluation can be achieved by use of settlement and tool methods of EF and MF levels estimation and «approximate dosimetry» method application — calculation of EF and MF exposure load for different categories of personnel in view of levels and time of exposure. The example of such estimation for workplaces of 500 kV power network enterprise (including overhead transmission line) different staff categories is given.

Key words: power frequency electromagnetic field, work place, power network enterprise, hygienic evaluation

Как известно, основными факторами возможного влияния на человека систем электропередачи являются электрическое и магнитное поля (ЭП и МП) частотой 50/60 Гц (промышленной частоты). Следует отметить, что этот диапазон относится к сверхнизкочастотному диапазону, в который входят частоты 30—300 Гц (согласно Международному регламенту радиосвязи). Источниками электромагнитных полей (ЭМП) промышленной частоты (ПЧ) являются различные типы энергообъектов — высоковольтные подстанции и линии электропередачи, все устройства, содержащие токоведущие провода, включая электротранспорт, производственное и медицинское оборудование, бытовые приборы и т.д. Производственным воздействиям ЭМП ПЧ подвергается, в первую очередь, персонал электросетевых объектов, обслуживающий открытые распределительные устройства (ОРУ) и воздушные линии электропередачи (ВЛ) сверх- и ультравысокого напряжения, а также персонал, осуществляющий обслуживание кабельных линий электропередачи. Необходимо также учитывать, что при высоких уровнях ЭП возможно дополнительное влияние на человека электрических разрядов, токов стекания и емкостных токов. Кроме того, при выполнении в электроэнергетике некоторых видов работ, в частности, работ с непосредственным касанием токоведущих частей, находящихся под напряжением, на человека дополнительно действуют факторы коронного разряда (шум, аэроионизация, оксиды азота,

электромагнитное излучение широкополосного спектра радиочастотного диапазона).

В последнее время при аттестации рабочих мест часто также возникает вопрос о необходимости гигиенической оценки уровней ЭМП ПЧ на рабочих местах персонала, профессионально не связанного с эксплуатацией и обслуживанием электроустановок.

Как известно, гигиеническая регламентация производственных воздействий ЭМП ПЧ для лиц, профессионально связанных с эксплуатацией и обслуживанием их источников осуществляется согласно СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях». Согласно его требованиям предельно допустимый уровень напряженности ЭП на рабочем месте в течение всей рабочей смены устанавливается равным 5 кВ/м.

При напряженности ЭП больше 5 и до 20 кВ/м включительно допустимое время пребывания в ЭП Т (час) рассчитывается по формуле:

$$T = 50/E - 2,$$

где **E** – напряженность ЭП в контролируемой зоне, кВ/м; **T** – допустимое время пребывания в ЭП при соответствующем уровне напряженности, ч.

При напряженности от 20 до 25 кВ/м допустимое время пребывания в ЭП составляет 10 мин.

Пребывание в ЭП с напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается.

Допустимое время пребывания в ЭП может быть реализовано одноразово или дробно в течение рабочего дня. В остальное рабочее время необходимо находиться вне зоны влияния ЭП или применять средства защиты.

Время пребывания персонала в течение рабочего дня в зонах с различной напряженностью ЭП ($T_{пр}$) вычисляется по формуле:

$$T_{пр.} = 8\ (t_{E1}/T_{E1} + t_{E2}/T_{E2} + ... + t_{En}/T_{En}),$$

где $T_{пр}$ – приведенное время, эквивалентное по биологическому эффекту пребыванию в ЭП нижней границы нормируемой напряженности; t_{E1}, t_{E2}, ..., t_{En} – время пребывания в контролируемых зонах с напряженностью E_1, E_2, ..., E_n, ч; T_{E1}, T_{E2}, ..., T_{en} – допустимое время пребывания для соответствующих контролируемых зон. При этом приведенное время не должно превышать 8 ч.

ПДУ периодических (синусоидальных) МП устанавливаются для условий общего (на все тело) и локального (на конечности) воздействия (табл. 1) по значениям напряженности и соответственно индукции.

Допустимое время пребывания в МП также может быть реализовано одноразово или дробно в течение рабочего дня.

Для контроля уровней ЭМП ПЧ, создаваемых различными источниками, используются расчетные и инструментальные методы.

Расчетные методы преимущественно используются при проектировании новых или реконструкции действующих энергообъектов. В настоящее время практически отсутствуют адекватные расчетные методы, которые позволили бы объективно оценивать электромагнитную обстановку на ОРУ, в первую очередь, в связи со сложной компоновкой электрооборудования и невозможностью точно рассчитать электромагнитную обстановку ввиду большого числа источников ЭМП. Для случая ВЛ этот вопрос решается несколько проще. В настоящее время у нас в стране и за рубежом имеется целый ряд компьютерных программ, с достаточно высокой степенью точности отражающих распределение ЭП и МП ПЧ в зависимости от высоты подвеса проводов и расстояния от ВЛ. Так, в частности, разработанная коллективом авторов «Программа определения напряженностей электрических и магнитных полей воздушных линий электропередачи (Линия ЭМП)» (свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2004612173) позволяет определить линейные плотности зарядов проводов, составляющих расщепленные фазы и грозозащитные тросы линии, напряженность электрического поля на поверхности проводов фаз, емкости и индуктивности фаз, волновое сопротивление, натуральную мощность и величину фазного тока линии при мощности нагрузки, равной натуральной мощности линии, распределение электрических и магнитных полей в окружающем линию пространстве для различных значений напряжений и токов линии. Программа не только обеспечивает оценку уровней ЭП и МП ПЧ, создаваемых ВЛ, но может быть также использована для расчета напряженностей МП кабельных линий (КЛ) электропередачи. Из данных, представленных на рисунках 1–4, на примере распределения уровней ЭП и МП ПЧ в пределах санитарно-защитной зоны ВЛ 500 кВ в зависимости от высоты подвеса проводов виден характер их изменения в зависимости от возможного рабочего места персонала.

Недавно также была разработана программа, которая позволяет рассчитать распределение в

Таблица 1

ПДУ воздействия периодического магнитного поля частотой 50 Гц

Время пребывания (час)	Допустимые уровни МП, Н [А/м] / В [мкТл] при воздействии	
	общем	локальном
≤ 1	1 600 / 2 000	6 400 / 8 000
2	800 / 1 000	3 200 / 4 000
4	400 / 500	1 600 / 2 000
8	80 / 100	800 / 1 000

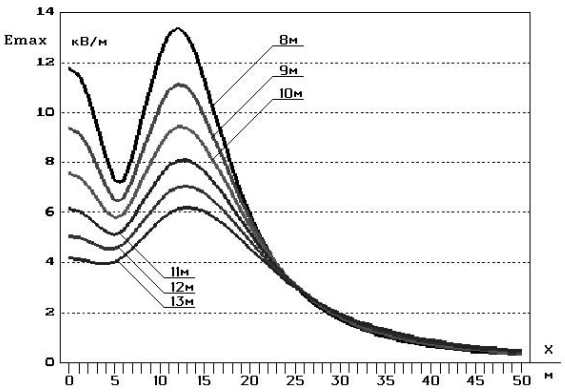

Рис. 1. Сводный график распределения напряженности E_{max} ЭП в сечении ВЛ-500 кВ на уровне 1,8 м от поверхности земли для габаритов «нижний провод фазы – земля» 8, 9, 10, 11, 12 и 13 м.

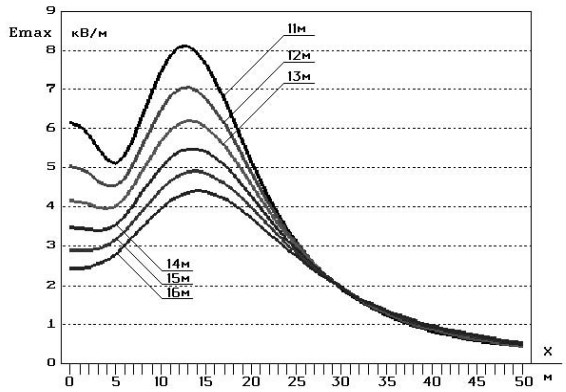

Рис. 2. Сводный график распределения напряженности E_{max} ЭП в сечении ВЛ-500 кВ на уровне 1,8 м от поверхности земли для габаритов «нижний провод фазы – земля» 11, 12, 13, 14, 15 и 16 м.

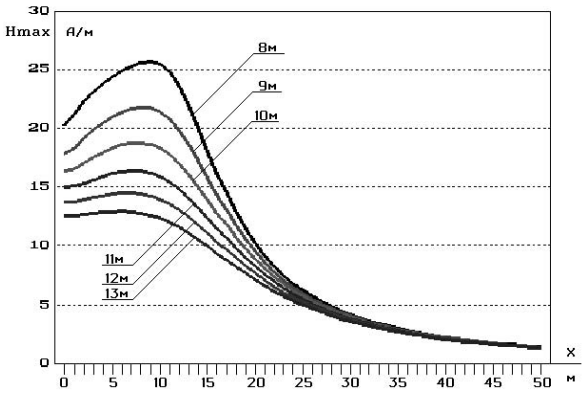

Рис. 3. Сводный график распределения напряженности H_{max} МП в сечении ВЛ-500 кВ на уровне 1,8 м от поверхности земли для габаритов «нижний провод фазы – земля» 8, 9, 10, 11, 12 и 13 м.

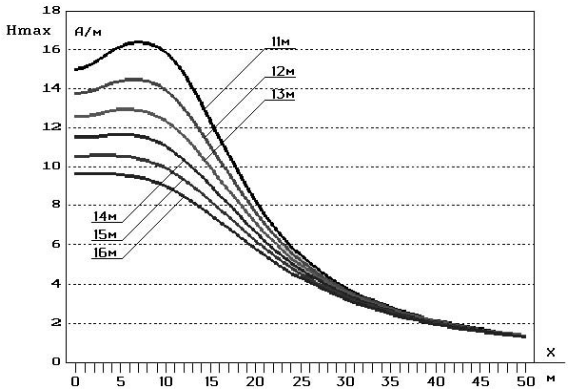

Рис. 4. Сводный график распределения напряжённости H_{max} МП в сечении ВЛ-500 кВ на уровне 1,8 м от поверхности земли для габаритов «нижний провод фазы – земля» 11, 12, 13, 14, 15 и 16 м.

окружающем пространстве напряженности магнитного поля, создаваемого трехфазными многослойными и многорядными реакторами без ферромагнитного сердечника. Такие расчеты часто бывают необходимы для определения возможности размещения рабочих мест различных категорий работающих, в том числе оснащенных ПЭВМ.

Для действующих источников ЭМП контроль уровней осуществляется преимущественно посредством инструментальных измерений. Так «Методические указания по определению электромагнитного поля воздушных высоковольтных линий электропередачи и гигиенические требования к их размещению» № 4109-86 определяют как размеры санитарно-защитных зон воздушных линий электропередачи напряжением 330, 500, 750 и 1150 кВ, так и рекомендации по проведению инструментальных измерений в пределах санитарно-защитной зоны.

Тем не менее, простая регистрация уровней ЭП и МП ПЧ на рабочих местах персонала не может дать объективной картины интенсивностно-временных параметров воздействия фактора на работающих. В реальных условиях для гигиенической оценки ЭП и МП ПЧ как методы расчета приведенного времени (по СанПиН 2.2.4.1191-03), так и методика измерений в зоне размещения ВЛ ЭП и МП ПЧ на рабочих местах персонала используются крайне редко, так как при эксплуатации и обслуживании электроустановок рабочие места не фиксированы, а в течение всей рабочей смены отдельный работник (или группа работников) перемещаются в зоне выполнения работ. Этот вопрос приобретает особую значимость при проведении аттестации рабочих мест, так как согласно требованиям «Руководства по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условия труда» Р 2.2.2006-05 необходимо устанавливать класс и степень вредности условий труда в зависимости от их соответствия гигиеническим регламентам.

В ГУ НИИ медицины труда РАМН была разработана и апробирована система гигиенической оценки интенсивностно-временных параметров воздействия ЭП и МП на рабочих местах персонала ОРУ и ВЛ, позволяющая достаточно адекватно оценивать степень экспозиции различных ка-

тегорий работающих к фактору и сопоставлять эти значения с соответствующими гигиеническими регламентами. Система гигиенической оценки уровней ЭП и МП ПЧ на ОРУ СВН строится на основании измерений уровней электрической и магнитной составляющих на всех возможных рабочих местах персонала (во всех ячейках оборудования), данных о характере профессиональной деятельности отдельных групп работающих и хронометражных исследований.

Для оценки уровней ЭП и МП ПЧ на наземных рабочих местах линейного персонала (осуществляющего эксплуатацию ВЛ СВН) была разработана стандартизованная схема измерений, позволяющая по 35 точкам (местам измерений) осуществлять гигиеническую оценку уровней ЭП и МП в пролете ВЛ в пределах санитарно-защитных зон (рис. 5). На основании результатов измерений строится матрица распределения уровней ЭП и МП ПЧ. Далее гигиеническая оценка уровней ЭП и МП также как для случая ОРУ строится на основании данных о характере и видах деятельности и хронометражных исследований.

Особо следует отметить, что при регистрации уровней МП ПЧ запрашиваются данные об уровнях нагрузки на соответствующих участках электрических сетей. Анализ данных ведется с учетом доли нагрузки в момент измерений от номинальной (максимальной расчетной).

На основании результатов измерений строятся графическое изображение (гистограмма) распределения уровней ЭП и МП (для ОРУ и ВЛ, соответственно), рассчитываются средневзвешенные значения уровней ЭП и МП ПЧ (Е и Н) для каждого электросетевого объекта.

«Экспозиционные нагрузки» как основной критерий степени воздействия фактора на работающих для соответствующих профессиональных групп определяются на основании интенсивностных и интенсивностно-временных характеристик воздействия ЭП и МП ПЧ. Это осуществляется путем пересчета полученных средневзвешенных значений Е и Н в условно высчитываемые экспозиционные нагрузки: за рабочую смену и за год с учетом числа рабочих смен в год для каждой профессиональной группы. Полученные данные пересчитывались на условно усредненную для каждой профессиональной группы «нагрузку» за сутки и в час. Расчеты производятся по представленным ниже формулам:

$$ЭН_H = \frac{H_{средне-взвеш.} \times I_{max}/I_i \times T \times N}{365 \times 24},$$

где $\mathbf{ЭН_E}$ – экспозиционная нагрузка по ЭП, $\mathbf{ЭН_H}$ – экспозиционная нагрузка по МП, $\mathbf{E_{средне-взвеш.}}$ – средневзвешенное значение напряженности ЭП на ОРУ или в зоне ВЛ, $\mathbf{H_{средне-взвеш.}}$ – средневзвешенное значение напряженности МП на ОРУ или в зоне ВЛ, **T** – среднее время работы за смену, **N** – число рабочих смен в год, **365** – число дней в году, **24** – число часов в сутки, $\mathbf{I_{max}/I_i}$ – отношение максимального рабочего тока к току электроустановки при измерениях.

При анализе ЭМО на рабочих местах персонала, обслуживающего ОРУ и ВЛ, доля мест измерений с определенными уровнями напряженности ЭП определяется «шагом» 1 кВ/м, МП – с шагом 1 А/м.

В качестве примера можно привести результаты измерений на одном ОРУ напряжением 500 кВ и в пределах санитарно-защитной зоны (СРР) 20 пролетов ВЛ напряжением 500 кВ, находящихся на территории Европейской части РФ. Измерения проводились на высоте 1,8; 1,5 и 0,5 м от поверхности земли и представлены с учетом размещенных на ОРУ стационарных средств защиты.

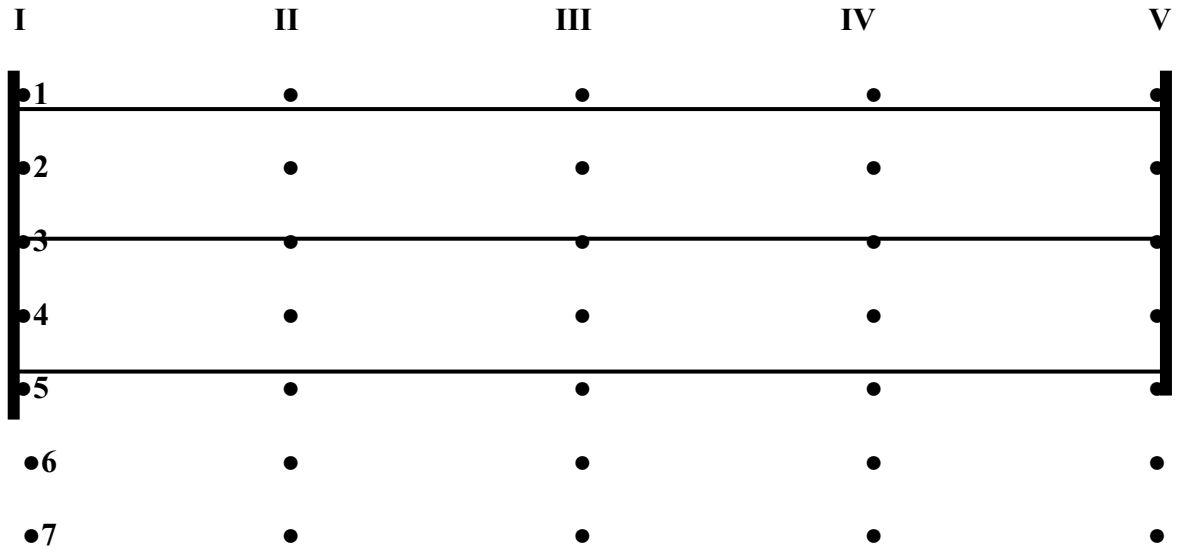

Рис. 5. Схема проведения измерений уровней ЭП и МП ПЧ в пределах санитарно-защитной зоны ВЛ.

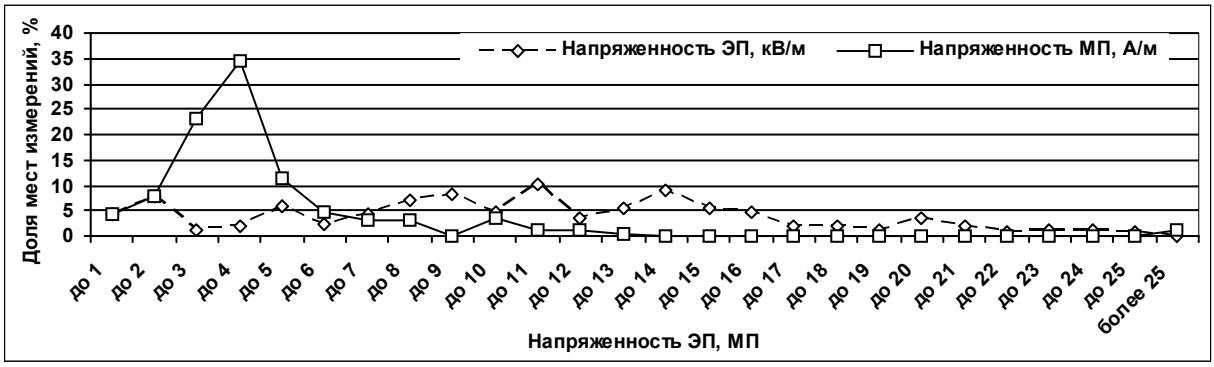

Рис. 6. Долевое распределение уровней ЭП и МП ПЧ на ОРУ 500 кВ (%).

Таблица 2

Уровни напряженности ЭП и МП ПЧ в пределах санитарно-защитных зон ВЛ 550 кВ (кВ/м; А/м)

Параметр		Места измерений (в соответствии со схемой по рис. 5)				
		I	II	III	IV	V
Напряженность ЭП 50 Гц, кВ/м $E_{ср.}$ / (E_{min} – E_{max})	1	1,5 / 0,5–3,0	4,5 / 1,3–5,7	6,8 / 1,3–3,7	4,4 / 3,6–11,0	1,4 / 1,0–2,1
	2	1,1 / 0,1–3,6	3,1 / 2,5–4,5	5,4 / 3,9–8,0	4,2 / 3,6–5,0	1,0 / 0,5–3,5
	3	0,4 / 0–1,1	3,3 / 0,7–5,7	6,8 / 2,7–8,0	3,0 / 1,5–10,0	0,4 / 1,0–2,0
	4	1,1 / 0,5–2,9	3,4 / 1,5–6,7	5,3 / 4,0–8,0	3,1 / 2,3–9,0	0,7 / 0,5–1,5
	5	1,3 / 0,7–3,0	4,8 / 0,5–6,5	7,0 / 2,2–14,0	6,7 / 2,4–10,0	1,3 / 0,5–1,7
	6	1,4 / 0,4–2,0	3,4 / 0,9–7,0	3,5 / 1,1–4,8	3,1 / 1,5–4,8	1,7 / 0,4–2,9
	7	1,4 / 0–2,8	1,1 / 0–3,0	1,2 / 0–1,7	1,4 / 0–1,7	1,3 / 0–1,7
Напряженность МП 50 Гц, А/м $H_{ср.}$ / (H_{min} – H_{max})	1	1,6 / 0,27–3,6	2,1 / 0,48–2,8	3,9 / 0,54–4,64	2,2 / 0,67–3,6	1,7 / 0,44–3,04
	2	1,5 / 0,24–3,04	3,5 / 0,46–5,2	5,8 / 0,2–7,04	1,6 / 0,54–2,72	1,5 / 0,32–2,96
	3	1,7 / 0,16–3,04	3,8 / 0,40–5,2	5,2 / 0,42–5,6	3,1 / 0,48–4,16	1,7 / 0,32–3,04
	4	1,4 / 0,16–2,0	3,3 / 0,34–4,8	5,4 / 0,30–5,6	1,6 / 0,38–2,8	1,7 / 0,24–4,0
	5	1,2 / 0,48–1,76	1,9 / 0,26–2,88	3,8 / 0,32–4,64	3,2 / 0,35–4,64	1,8 / 0,24–4,0
	6	0,3 / 0,2–1,68	0,8 / 0,24–2,4	0,9 / 0,16–3,2	0,5 / 0,40–1,68	0,3 / 0,24–0,88
	7	0,2 / 0,14–1,76	0,5 / 0,24–1,6	0,4 / 0,16–0,8	0,5 / 0,22–1,68	0,3 / 0,16–0,8

Так на основании результатов измерений уровней ЭП и МП ПЧ на ОРУ в 350 точках из диаграммы распределения уровней напряженности ЭП ПЧ и МП ПЧ (рис. 6) можно видеть, что доля мест измерений с уровнями до 5 кВ/м (не требующими ограничения времени пребывания за рабочую смену) составляет 21 % рабочих мест, с уровнями от 5 до 20 кВ/м — 73,6 %, а более 20 кВ/м (где запрещается пребывание в течение более 10 мин. промежутка времени) — лишь 5,4 % рабочих мест. При этом не было выявлено рабочих мест, требующих дополнительного применения средств защиты — с уровнями более 25 кВ/м. Однако расчет средневзвешенного значения напряженности ЭП ПЧ для данного ОРУ 500 кВ показал, что он составляет **10,7 кВ/м**, что в значительной степени превышает уровень 5 кВ/м, позволяющий осуществлять работы без ограничения времени пребывания.

По результатам измерений уровней напряженности МП ПЧ, которые производились при нагрузке, составлявшей 25 % от номинальной, можно видеть (рис. 6), что в большинстве случаев (81,4 %) зарегистрированные уровни не превышали 5 А/м, что значительно ниже ПДУ для условий производственных воздействий. Средневзвешенная величина измеренных значения напряженности МП составила 4,6 А/м. Однако с учетом того, что измерения производились при нагрузке, составлявшей лишь 25 % от номинальной, для адекватной гигиенической оценки возможных уровней МП на рабочих местах полученное значение следует умножить на 4. Соответственно, средневзвешенное значение напряженности МП ПЧ на данном ОРУ составит **18,6 А/м** (что также ниже ПДУ для условий производственных воздействий).

Измеренные уровни напряженности ЭП и МП ПЧ в пределах СЗЗ ВЛ напряжением 500 кВ (табл. 2), показывают высокую степень совпадения полученных данных с расчетными (рис. 1—4), а также позволяют рассчитать средневзве-

Таблица 3

Расчетные значения экспозиционных нагрузок по электрической и магнитной составляющим ЭМП ПЧ различных профессиональных групп персонала, обслуживающего ПС и ВЛ 500 кВ

Группа персонала	Параметр	Средневзвешенное	Экспозиционная нагрузка			
			За смену	За год	На сутки за год	На час за год
Линейный	Е, кВ/м	8,1	60,6	10718,4	29,4	1,22
	Н, А/м	14,8	103,6	18026,4	49,39	2,06
Ремонтная служба ПС	Е, кВ/м	10,7	64,2	11170,8	30,6	1,27
	Н, А/м	18,6	111,6	19418,4	53,20	2,21
Служба релейной защиты	Е, кВ/м	10,7	26,75	4654,5	12,75	0,53
	Н, А/м	18,6	46,5	8091,0	22,17	0,92
Оперативно-диспетчерский	Е, кВ/м	10,7	16,05	2921,1	8,0	0,33
	Н, А/м	18,6	27,9	5077,8	13,91	0,58

шенное значение напряженности ЭП и МП ПЧ на наземных рабочих местах линейного персонала, обслуживающего данные энергобъекты.

Расчет средневзвешенного значения напряженности ЭП ПЧ для условий наземных работ в пределах СЗЗ ВЛ 500 КВ показал, что он составляет **8,8 кВ/м.** Рассчитанные значения средневзвешенного уровня напряженности МП показали, что он составляет 3,7 А/м для условий нагрузки в 25 % от номинальной. То есть для адекватной гигиенической оценки следует считать, что средневзвешенное значение напряженности МП ПЧ на рабочих местах линейного персонала, обслуживающего ВЛ 500 кВ, должно составлять **14,8 А/м**.

Условная дозиметрия — расчет экспозиционных нагрузок, проведенный для различных групп персонала, осуществляющего эксплуатацию и обслуживание подстанции (ПС) и ВЛ 500 кВ, с учетом временного параметра(табл. 3), свидетельствует о том, что в наибольшей степени воздействию ЭП и МП ПЧ подвергается персонал линейной службы и ремонтной службы подстанций. Персонал службы релейной защиты и автоматики экспонирован к ЭМП ПЧ в 2 раза меньше, чем линейный и ремонтный, а экспозиционные нагрузки персонала оперативно-диспетчерской службы приблизительно в 4 раза меньшие, чем у линейного и ремонтного.

Сопоставление полученных данных с аналогичным расчетом для условий работы при соблюдении нормативных требований для всего рабочего дня — для ЭП при уровнях 5 кВ/м (по 8 ч в день), и для МП — 80 А/м, показывает, что условная экспозиция по ЭП ПЧ на час за год должна составлять не более 1,02 кВ/м, тогда как по магнитной составляющей она должна быть не более 16,4 А/м.

Таким образом, проведенные измерения и расчеты показывают, что у наиболее экспонированных к ЭМП ПЧ групп персонала — линейной службы и ремонтной службы ПС отмечается приблизительно 20 % превышение экспозиционных нагрузок к ЭП по сравнению с соответствующим нормативному значению, тогда как по магнитной составляющей уровни фактора на рабочих местах соответствуют нормативным требованиям как по средневзвешенным значениям, так и по экспозиционным нагрузкам.

В целом представленные выше данные показывают перспективность метода «условной дозиметрии» ЭМП ПЧ для оценки степени их воздействия на рабочих местах персонала электросетевых объектов, особенно с учетом невозможности адекватной приборной дозиметрии ЭП ПЧ и отсутствием фиксированных рабочих мест у этих категорий работающих.