

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ НИЗКОЧАСТОТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОТКРЫТОМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОМ УСТРОЙСТВЕ НАПРЯЖЕНИЕМ 500 КВ**

*И.С. Окраинская, Н.В. Глотова*

Приведены данные о результатах измерения интенсивности магнитных полей на открытых распределительных устройствах (ОРУ) напряжением 500 кВ в диапазоне частот от 5 до 1000 Гц. Отмечается, что наибольший уровень напряженности магнитного поля на рабочих местах персонала был отмечен вблизи тиристорного статического компенсатора, где он превышает допустимый для 8-ми часового воздействия уровень. На остальной территории ОРУ-500 кВ не отмечается превышения ПДУ по магнитному полю ни на частоте 50 Гц ни на кратных ей частотах.

Ключевые слова: напряженность (индукция) магнитного поля, открытое распределительное устройство, результаты измерения, персонал.

Персонал, обслуживающий электроустановки сверхвысокого напряжения, подвергается воздействию электромагнитного поля широкого диапазона частот, создаваемого электрооборудованием ОРУ-500. Одной из составляющих этого поля является низкочастотное магнитное поле.

Низкочастотное магнитное поле, преимущественно это поле частотой 50 Гц, индуцирует в теле человека вихревые токи. Согласно современным представлениям индуцирование вихревых токов является основным механизмом биологического действия магнитного поля (МП) частотой 50 Гц. Основным параметром, его характеризующим, является плотность вихревых токов. Биологическая эффективность магнитного поля зависит от его интенсивности и продолжительности воздействия. Магнитное поле вызывает изменения функционального состояния нервной, сердечно-сосудистой, иммунной систем. Имеется вероятность увеличения риска развития лейкозов и злокачественных новообразований центральной нервной системы [1–3].

Предельно допустимые уровни магнитного поля промышленной частоты в Российской Федерации устанавливаются СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» [4]. В основу нормирования уровня МП положено допустимое значение плотности вихревого тока в организме человека (с разными коэффициентами запаса). Допустимые уровни магнитного поля приведены в табл. 1. Допустимые уровни магнитного поля внутри временных интервалов определяются интерполяцией.

Таблица 1

Допустимые уровни магнитного поля

Время пребывания, ч	Допустимые уровни магнитного поля H (А/м)/В (мкТл) при воздействии	
	общем	локальном
≤ 1	1600/2000	6400/8000
2	800/1000	3200/4000
4	400/500	1600/2000
8	80/100	800/1000

Представленные далее результаты были получены в результате проведения измерений на открытых распределительных устройствах напряжением 500 кВ подстанций Урала и Западной Сибири.

В качестве средства измерения был использован измеритель напряженности поля промышленной частоты ПЗ-50В с соответствующим антенным преобразователем.

Измерения проводились по схеме, приведенной на рис. 1, на высоте 1,8 м от поверхности земли.

В качестве примера на рис. 2 приведено распределение напряженности магнитного поля вдоль оборудования на одном из открытых распределительных устройств напряжением 500 кВ. Ток нагрузки на момент измерения составлял около 400 А на фазу.

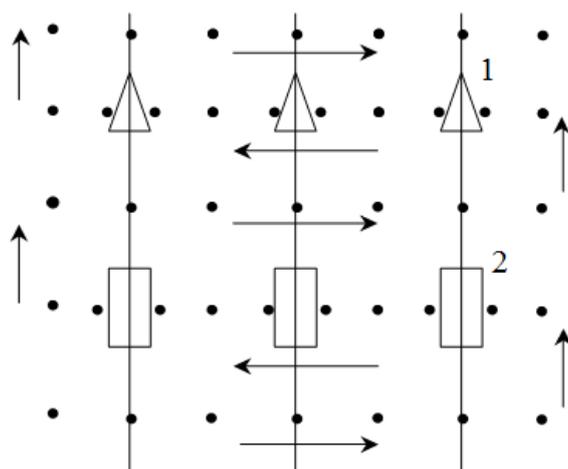


Рис. 1. Схема измерения напряженности магнитного поля вблизи оборудования:  
1 – шинные опоры; 2 – разъединители

Напряженность магнитного поля промышленной частоты определяется величиной токов нагрузки линии, к которой подключено рассматриваемое оборудование на ОРУ и его конструкцией. Поэтому для сопоставления результатов измерений, проведенных для различных подстанций, полученные значения были пересчитаны на одно значение тока нагрузки путем умножения на коэффициент  $k$ :

$$k = I_{\max} / I_{\text{факт}} , \quad (1)$$

где  $I_{\max}$  – максимальная величина тока нагрузки, к которой приводятся результаты измерений,  $I_{\text{факт}}$  – фактическая величина тока нагрузки в момент измерения.

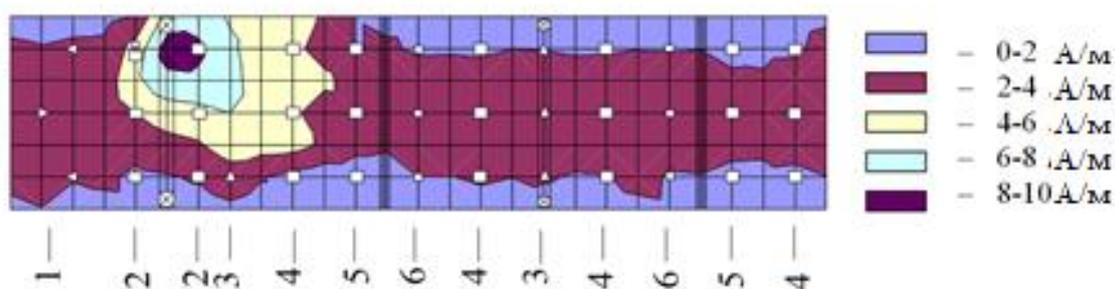


Рис. 2. Карта напряженности магнитного поля в ячейке одной из подстанций, А/м:

1 – ограничитель перенапряжений (ОПН), 2 – трансформатор напряжения,  
3 – шинная опора, 4 – разъединитель, 5 – воздушный выключатель,  
6 – трансформатор тока

Величины токов нагрузки лежали в диапазоне от 400 до 900 А. Максимальный расчетный ток нагрузки на ОРУ 500 кВ составляет 2000 А. В табл. 2 приведены пределы изменения (от минимального до максимального) напряженности магнитного поля промышленной вблизи различных видов оборудования на ОРУ, а также ее средние значения с учетом пересчета полученных значений на ток.

Таблица 2

Результаты измерения напряженности магнитного поля вблизи оборудования открытого распределительного устройства напряжением 500 кВ в пересчете на ток нагрузки 900 А

Наименование оборудования	Напряженность магнитного поля, А/м		
	минимальная	средняя	максимальная
Шинная опора	0,99	6,98	14,73
Разъединитель	1,53	6,38	16,49
Трансформатор напряжения	1,24	6,36	20,13
Ограничитель перенапряжений	2,57	5,12	8,19
Трансформатор тока	0,90	4,48	8,72
Воздушный выключатель	1,21	4,45	8,52
Автотрансформатор	1,38	3,86	6,62

Несколько больший уровень магнитного поля наблюдается вблизи шинных опор, разъединителей и трансформаторов напряжения, однако и здесь оборудования уровень магнитного поля гораздо ниже ПДУ. Исключение составляет только оборудование, компенсаторов реактивной мощности, предназначенное для регулировки баланса между количеством вырабатываемой и потребляемой реактивной мощности.

В настоящее время на отдельных подстанциях в РФ ведется замена синхронных компенсаторов на статические тиристорные компенсаторы (СТК). Монтаж и введение в работу нового типа устройств на открытом распределительном устройстве и во вспомогательных помещениях потребовал проведения контроля электромагнитной обстановки для определения условий и режима работы персонала, обслуживающего данное устройство. Исследования были проведены осенью 2013 г.

В состав оборудования СТК входят: тиристорно-реакторные группы (ТРК) – компенсирующие реакторы с тиристорными вентилями; фильтро-компенсирующие устройства (ФКУ) – набор фильтров высших гармоник; конденсаторные батареи (КБ). Часть оборудования установлена на открытом распределительном устройстве, а часть (система управления) в закрытом и отапливаемом помещении.

Во время проведения измерений по оборудованию, входящему в состав СТК-1, протекали токи, приведенные в табл. 3.

Таблица 3

Данные о величинах токов, протекающих по СТК-1  
в момент проведения измерений

Обозначение оборудования	Величины токов в момент измерения, А
Реактор токограничивающий сухой РТСТ-10-4000-0,14 УХЛ1	3105 ... 3113
Конденсаторная батарея трехфазная КБ-10-75600 УХЛ, сухой включая трансформаторы тока ТОЛ-35 и реактор токоограничивающий сухой РТСТГ-10-4000-0,18 УХЛ1	2862 ... 2872
Фильтро-компенсирующее устройство ФКУ-5-10-7200 УХЛ1	259 ... 262
Реактор компенсирующий однофазный сухой сдвоенный РКOC-17500/11 УХЛ-1	44

Измерения напряженности магнитного поля на открытой территории проводились в середине пешеходной дорожки, проложенной вдоль ограды, территории, на которой установлено оборудование статического тиристорного компенсатора и под токопроводами из алюминиевых шин (рис. 3а и б).

На рис. 3а цифрой I обозначены компенсирующие реакторы наружной установки типа РКOC (реактор компенсирующий сухой (без масла) наружной установки); цифрой II – реакторы РТСТГ (реакторы сухие токоограничивающие с естественным воздушным охлаждением горизонтальным конструктивным исполнением), являющиеся катушками индуктивности, предназначенными для последовательного включения в электрические сети с целью ограничения токов короткого замыкания и сохранения уровня напряжения в электроустановках в случае короткого замыкания; цифрой III на рис. 3а обозначены конденсаторные батареи (КБ), предназначенные для компенсации реактивной мощности. На рис. 3б цифрой IV обозначен сухой токоограничивающий реактор РТСТ с воздушным охлаждением, подключенный к отходящей линии.

Результаты измерения напряженности магнитного поля представлены в табл. 4. Согласно данным табл. 4 напряженность магнитного поля промышленной частоты на открытой территории вблизи тиристорного статического компенсатора превышает предельно допустимый уровень 80 А/м в точках 1, 2, 4, 6, 7, 17.

Наибольшая величина напряженности магнитного поля в середине пешеходной дорожки, проходящей вдоль ограды оборудования СТК, установленного на ОРУ-500 кВ составляет 156,3 А/м что почти в 2 раза превышает предельно допустимый уровень и требует ограничения времени воздействия шестью с половиной часами.

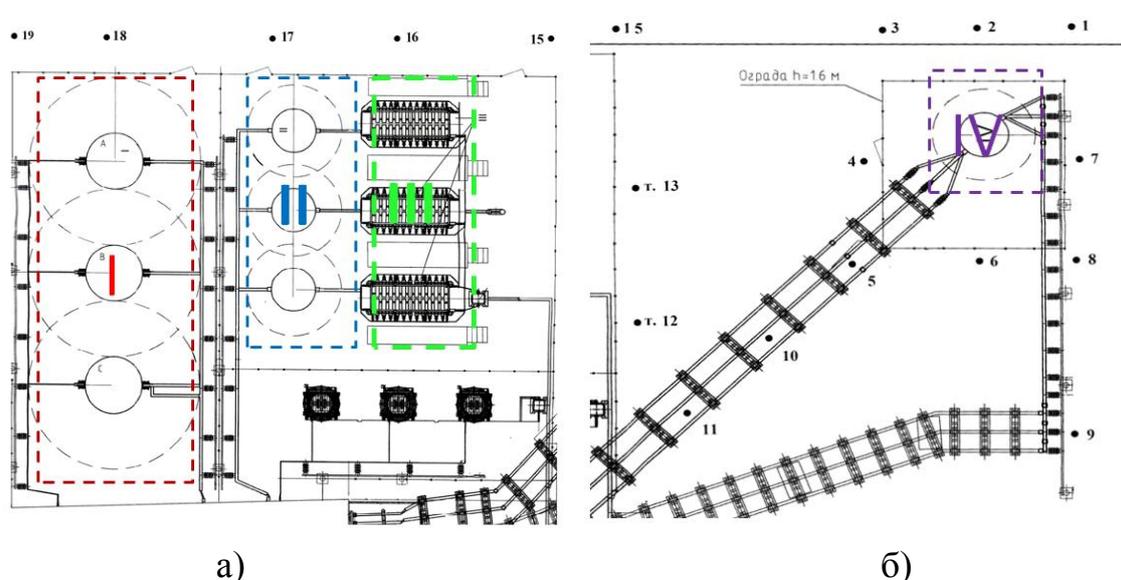


Рис. 3. Схема размещения точек измерения напряженности электрического поля на открытом распределительном устройстве, где расположено основное оборудование статического тиристорного компенсатора. а) часть I б) часть II

СанПиН 2.2.4.1191-03 устанавливает, что при необходимости пребывания персонала в зонах с различной напряженностью магнитного поля общее время выполнения работ в этих зонах не должно превышать предельно допустимое для зоны с максимальной напряженностью, поэтому, если работник будет выполнять работы на открытой территории вблизи СТК общее время работы не должно превышать 5 часов. Максимально допустимое время должно быть указано в инструкциях по охране труда для соответствующего персонала.

Таблица 4

Результаты измерения напряженности магнитного поля промышленной частоты на открытой территории вблизи оборудования статического тиристорного компенсатора

№ точки измерения	Напряженность магнитного поля, А/м	№ точки измерения	Напряженность магнитного поля, А/м
1	118,73	10	49,35
2	154,70	11	56,36
3	66,44	12	52,34
4	138,52	13	22,90
5	78,58	15	10,47
6	148,31	16	14,37
7	156,29	17	127,65
8	75,19	18	10,47
9	32,03	19	14,37

Далее представлены результаты исследования спектрального состава низкочастотного магнитного поля (частотой до 1000 Гц) на территории ОРУ-500 кВ. Следует отметить, что в Российской Федерации отсутствуют нормативные документы, устанавливающие предельно допустимые уровни напряженности магнитного поля в диапазоне частот от 50 Гц до 10 кГц, за исключением границ диапазона [5] как для населения, так и для профессионального воздействия. В Европейском союзе такие документы имеются (табл. 5) [5, 6, 7], и мы использовали их, чтобы оценить полученные значения.

Таблица 5

Контролируемые уровни производственных воздействий ЭМП  
по Directive 2004/40/EC [6]

Диапазон частот	Интенсивность МП (мкТл)
0–1Гц	$2 \times 10^5$
1–8 Гц	$2 \times 10^5 / f^2$
8–25 Гц	$2,5 \times 10^4 / f$
0,025–0,82 кГц	$25 / f$
0,82–2,5 кГц	30,7

Исследование спектрального состава электромагнитного поля были выполнены при помощи измерителя и анализатора электрического и магнитного полей EFA-300 NARDA. Измеритель и анализатор имеет встроенный и выносной датчики магнитного поля, дополнительный автономный модуль измерения электрического поля, диапазон измерения датчиков магнитного поля (номинальный) 100 нТл...32 мТл, диапазон измерения датчиков электрического поля (номинальный) 10 В/м...100 кВ/м, режим анализа и оценки STD (Shaped Time Domain) для измерений независимо к форме сигнала, режим спектрального анализа быстрым преобразованием Фурье, встроенная индивидуальная память модулей измерения магнитного и электрического полей. Диапазон температур, в пределах которого проводились измерения, составляет от +23 °С до +7 °С, влажность – от 59 % до 92 %

Результаты измерения индукции магнитного поля на открытом распределительном устройстве напряжением 500 кВ в диапазоне частот от 5 до 1000 Гц приведены в табл. 6.

Установленные в результате измерений уровни электрического поля в диапазоне частот от 50 до 32 кГц существенно ниже предельно допустимых для профессионального воздействия. Несколько более высокий уровень по сравнению с соседними частотами наблюдается на открытом распределительном устройстве напряжением 500 кВ на частотах 150 Гц (28,75 нТл), 250 Гц (28,79 нТл) и 550 Гц (20,48 нТл).

Таблица 6

Индукция магнитного поля на открытых распределительных устройствах  
разного класса напряжения в диапазоне частот от 50 до 1 000 Гц

Частота f, Гц	Индукция магнитного поля В, нТл	Частота f, Гц	Индукция магнитного поля В, нТл
50	2758,40	550	28,70
100	14,67	600	1,02
150	19,19	650	3,57
200	12,22	700	1,81
250	18,15	750	6,69
300	3,09	800	3,19
350	12,67	850	5,95
400	4,43	900	1,05
450	6,76	950	1,32
500	5,18	1000	1,34

**Заключение.** Результаты исследования напряженности низкочастотного магнитного поля на ОРУ-500 кВ показали:

1. Что предельно допустимый уровень 80 А/м превышает только возле оборудования статического тиристорного компенсатора.

2. Максимальный уровень напряженности магнитного поля на открытом распределительном устройстве в середине пешеходной дорожки, проложенной возле ограды оборудования тиристорного статического компенсатора составляет 156,3 А/м. Столь высокие уровни напряженности магнитного поля промышленной частоты требуют ограничения времени контакта с вредным фактором не более, чем пятью часами за рабочую смену.

3. В диапазоне от 100 до 1000 Гц, на открытых распределительных устройствах отмечается некоторое увеличение индукции магнитного поля, соответствующее 3-й (150 Гц), 5-й (250 Гц) и 11-й (550 Гц) гармоническим составляющим. Уровень магнитного поля на всех частотах не превышает предельно-допустимого значения, для персонала.

#### Библиографический список

1. Bernhardt J.H. Assesment of experimentally observed bioeffects in view of their electrically relevance and the exposure at work place. BGA-Shriften, 1986, № 3, pp. 235–238.

2. Bernhardt J.H. at all. Limits for electric and magnetic fields in DIN VDE standarts consideretion for the range 0 to 10 kHz. SIGRE Session, 1986, pp. 36–10.

3. W T Kaune Introduction to power-frequency electric and magnetic fields Environ Health Perspect. Dec 1993; 101(Suppl 4): 73–81.

4. СанПиН 2.2.4.1191-03. Физические факторы производственной среды. Электромагнитные поля в производственных условиях. М.: Министерство здравоохранения РФ, 2003. – 17 с.

5. Рубцова, Н.Б. Проблемы и перспективы международной гармонизации гигиенических нормативов электромагнитных полей / Н.Б. Рубцова, Ю.П. Пальцев, Л.В. Походзей, С.Ю. Петров // Труды 9-го Международного симпозиума по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии. – СПб.: ООО АльфаГарант, 2011. – С. 576–579.

6. DIRECTIVE 2004/40/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 29 April 2004 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (18th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC) (OJ L 159, 30.4.2004, p. 1.

7. Council Recommendation 1999/519/EC on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz).

[К содержанию](#)