

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПАСНЫХ ЗОН В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ 10(6) кВ ПО УСЛОВИЯМ ВОЗДЕЙСТВИЯ МАГНИТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПЕРСОНАЛ, ОБСЛУЖИВАЮЩИЙ ПОДСТАНЦИИ 110/10(6) кВ

*А.В. Коржов, О.М. Малышева  
г. Челябинск, ЮУрГУ*

## FINDING THE DANGEROUS AREAS IN DISTRIBUTING GEARS 10(6) KV ACCORDING TO CONDITIONS OF INFLUENCE OF THE MAGNETIC COMPONENT OF ELECTROMAGNETIC FIELD ON THE STAFF SERVICING AN ELECTRIC POWER SUBSTATION 110/10(6) KV

*A.V. Korzhov, O.M. Malysheva  
Chelyabinsk, South Ural State University*

Приведены результаты измерений картины магнитного поля в распределительных устройствах на 11 подстанциях 110/10(6) кВ г. Кургана (более 2000 замеров). Сделаны выводы о наличии опасных зон в распределительных устройствах 10(6) кВ по условиям воздействия магнитного поля на обслуживающий персонал. Предложены дополнительные рекомендации в существующие стандарты.

*Ключевые слова:* магнитное поле, распределительное устройство 10(6) кВ, электроустановка, обслуживающий персонал.

The results of magnetic field measurements of switchgears of 11 electric power substations 110/10(6) kV of Kurgan (more than 2000 measurements) are presented in the article. The conclusion concerning dangerous areas in switchgears 10(6) kV according to influence of the magnetic field on maintenance staff were made. The additional recommendations for present standards were proposed.

*Keywords:* magnetic field, switchgear 10(6) kV, electric installation, maintenance staff.

Электромагнитное поле (ЭМП) является одним из негативных эксплуатационных факторов, действующих на персонал, обслуживающий электроустановки [1]. Длительное воздействие ЭМП на человека вызывает старение его организма, снижение его жизненного ресурса. Регламентация электромагнитных полей промышленной частоты осуществляется раздельно для электрической и магнитной составляющих без учета того, что в большинстве случаев ЭМП действует на человека совместно.

Длительное время считалось, что только электрическая составляющая поля электроустановок достигает достаточно высоких значений, чтобы оказать влияние на здоровье человека. Однако в последние 20–25 лет в научных изданиях Швеции, Великобритании, США и других стран появились публикации, в которых отмечалась возможность возникновения онкологических заболеваний у лиц, подвергавшихся воздействию магнитного поля

промышленной частоты. Магнитное поле индуцирует в теле человека вихревые токи. Реакции организма человека на воздействия магнитного поля имеют неспецифический характер. При длительном и систематическом контакте с магнитным полем могут возникать изменения функционального состояния нервной, сердечно-сосудистой, иммунной систем. В частности, отмечается увеличение времени реакции на внешние воздействия, поражение краткосрочной оперативной памяти, затормаживание поведенческих реакций (в опытах на обезьянах), изменение электроэнцефалограммы у человека, появление изменений в составе крови [2].

Многие лабораторные и клинические исследования, проводимые в Швеции, США, Японии и других странах, показали, что длительное воздействие ЭМП приводит к изменениям на клеточном уровне, в частности, к появлению онкологических заболеваний, а также таким «новомодным» болезням, как иммунная недостаточность, синдром хро-

нической усталости. При этом считается весьма опасным длительное воздействие магнитного поля более 0,16 А/м (200 мТл) для промышленной частоты 50 Гц [3].

Санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами СанПиН 2.2.4.1191-03 предписывается оценку электромагнитных полей промышленной частоты (50 Гц) в производственных условиях осуществлять отдельно по напряжённости электрического поля ( $E$ ) в кВ/м, напряжённости магнитного поля ( $H$ ) в А/м или индукции магнитного поля ( $B$ ) в мкТл [4]. Контроль уровней магнитного поля частотой 50 Гц должен осуществляться во всех зонах возможного нахождения человека при выполнении им работ, связанных с эксплуатацией и ремонтом электроустановок. Измерения напряжённости магнитного поля должны проводиться на высоте 0,5; 1,5 и 1,8 м от поверхности пола помещения и на расстоянии 0,5 м от оборудования и конструкций, стен зданий и сооружений. Измерения и расчёт напряжённости (индукции) магнитного поля промышленной частоты должны производиться при максимальном рабочем токе электроустановки, или измеренные значения должны пересчитываться на максимальный рабочий ток ( $I_{\max}$ ) путем умножения измеренных значений на отношение  $I_{\max}/I$ , где  $I$  – ток электроустановки при измерениях.

До 2003 года действовали санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.723-98 [5], которые не ограничивали расстояние до оборудования при измерениях. Результаты измерений предписывалось наносить на план помещения или электроустановки. Также в [5] было дано определение зоне влияния магнитного поля как пространству, в котором напряжённость (индукция) магнитного поля превышает 80 А/м (100 мкТл).

При анализе электромагнитной обстановки вблизи электроустановок исключительное внимание уделяется электрическому и магнитному полю промышленной частоты, так как интенсивность поля на этой частоте максимальна. Такая картина справедлива, только если в электроустановке протекает строго синусоидальный ток частотой 50 Гц. В реальных условиях ток, протекающий в электроустановке, имеет ряд гармонических составляющих [2]. Поэтому, помимо измерения электромагнитного поля 50 Гц, необходимо также измерять спектральный состав ЭМП.

Нами были проведены измерения магнитной составляющей электромагнитного поля промышленной частоты на 11 подстанциях города Кургана напряжением 110/10(6) кВ, 10 из которых не имеют постоянного обслуживающего персонала.

На территории распределительных устройств (РУ) 10(6) кВ находится оперативный персонал: электромонтёры по обслуживанию подстанции (дежурные подстанции), электромонтёры оперативно-выездной бригады (дежурные ОВБ), электромонтёры по оперативным переключениям в

распределительных сетях и оперативно-ремонтный персонал. Оперативные работы в распределительных устройствах 10(6) кВ выполняются согласно производственным инструкциям [6], составленным в соответствии с требованиями действующих руководящих указаний и распорядительных документов по эксплуатации электрических сетей. Оперативный и оперативно-ремонтный персонал при периодических, внеочередных и аварийных осмотрах, оперативных переключениях (выполняемых при вводе (выводе) оборудования в работу (из работы), ликвидации нарушений) и ремонтных работах (капитальный, послеаварийный ремонт) может приближаться к оборудованию на расстояние ближе, чем 0,5 м, что, на наш взгляд, необходимо учитывать при проведении измерений.

Измерения магнитной составляющей электромагнитного поля производились прибором EFA-300 NARDA, при этом селективно определялись действующие значения магнитной индукции и спектральный состав магнитного поля в двух частотных диапазонах: 5 Гц – 2 кГц (шаг 1 Гц); 40 Гц – 32 кГц (шаг 10 Гц). Прибор EFA-300 [7] является идеальным портативным анализатором для измерения магнитных и электрических полей на рабочих местах и в местах общественного пользования. Модель рассчитана на профессиональное применение на предприятиях энергетики, в муниципальных учреждениях, в страховых обществах, а также в индустрии безопасности и охраны здоровья. Погрешность измерения прибора составляет  $\pm 3-8\%$ .

Измерения магнитного поля проводились в распределительных устройствах (ЗРУ, КРУН) напряжением 10(6) кВ типа К-37, К-ХП, К-27, К-47, К-59. Всего за время работы было сделано более 2000 замеров. Все распределительные устройства следует по конструкции разделить на два типа: РУ, в котором ячейки с электрооборудованием расположены вплотную к стене сооружения (рис. 1), и РУ, в котором между задней частью ячейки и стеной сооружения имеется проход шириной 1–1,7 м (рис. 2), обычно под этим проходом располагается кабельный канал.

Как показали результаты измерений, в распределительных устройствах первого типа (рис. 1) значения магнитной индукции не превышают допустимых норм ( $B_{\text{доп}}=100$  мкТл;  $H_{\text{доп}}=80$  А/м при общем воздействии магнитного поля в течение 8-часового рабочего дня [4]). Так, при токе ввода трансформатора  $I=400$  А (наибольшая величина рабочего тока на рассмотренных РУ данного типа)  $B=27$  мкТл, и магнитная индукция не превышает допустимых значений при пересчёте на максимальный ток: при  $I_{\max}=916$  А  $B_{\max}=61,8$  мкТл. Следовательно, для подобных РУ не требуется проводить большое количество замеров, достаточно измерить магнитную индукцию у ячеек ввода трансформатора, около шинного моста и ячеек наиболее загруженных отходящих линий,

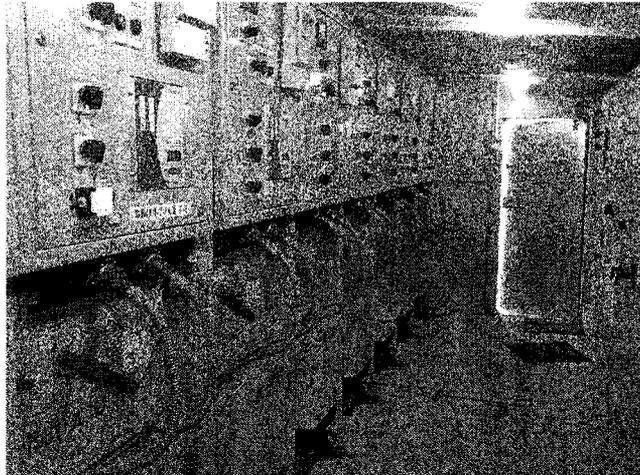


Рис. 1. РУ-10(6) кВ, где ячейки с электрооборудованием расположены вплотную к стене сооружения

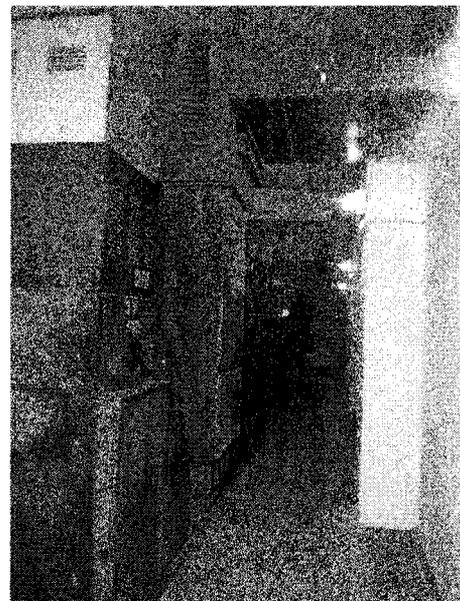


Рис. 2. РУ-10(6) кВ, где между ячейками с электрооборудованием и стеной существует проход

чтобы убедиться, что уровень магнитного поля находится в допустимых пределах. Однако необходимо учитывать совместное воздействие магнитного поля промышленной частоты и магнитного поля достаточно широкого спектрального состава (рис. 3).

Наибольший интерес представляют распределительные устройства второго типа (рис. 2, 4, а), так как токоведущие части электроустановок находятся в задней части ячейки. Измерения в таких РУ проводились в основном в проходах между ячейками и стеной сооружения в следующих точках: непосредственно у ячейки на высоте 0,5; 1,5 и 1,8 м относительно уровня пола (так как при выполнении оперативных работ оперативный и оперативно-ремонтный персонал может находиться в непосредственной близости от ячейки) и на рас-

стоянии 0,5 м от ячейки на высоте 0,5; 1,5 и 1,8 м относительно уровня пола.

В табл. 1 представлены некоторые полученные результаты измерений величин индукции и напряжённости магнитного поля, превышающие предельно допустимый уровень. На рис. 5 представлены спектрограммы магнитного поля, определённые вблизи задней панели ячейки.

В основном несоответствие реальных значений напряжённости (индукции) магнитного поля нормам наблюдается в точках, расположенных вблизи ячеек вводов трансформаторов и особо загруженных отходящих линий. Максимальная магнитная индукция наблюдалась у ячейки ввода трансформатора с  $I_{\max}=1400$  А и была равна  $B=852$  мкТл ( $H=678$  А/м).

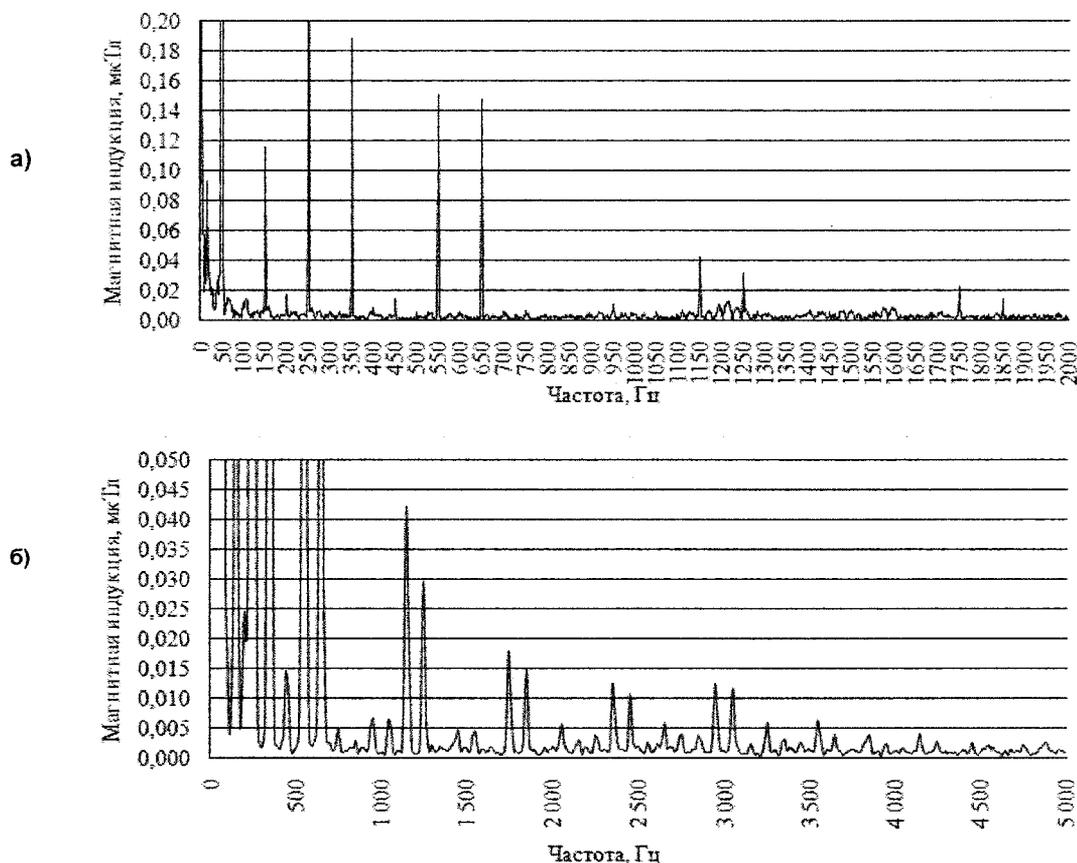


Рис. 3. Спектральный состав магнитного поля вблизи шинного моста ( $I=400$  А) на высоте 1,8 м (при частоте 50 Гц  $B=27$  мкТл, при частоте 250 Гц  $B=0,4$  мкТл): а) в диапазоне 5 Гц – 2 кГц; б) в диапазоне 40 Гц – 5 кГц

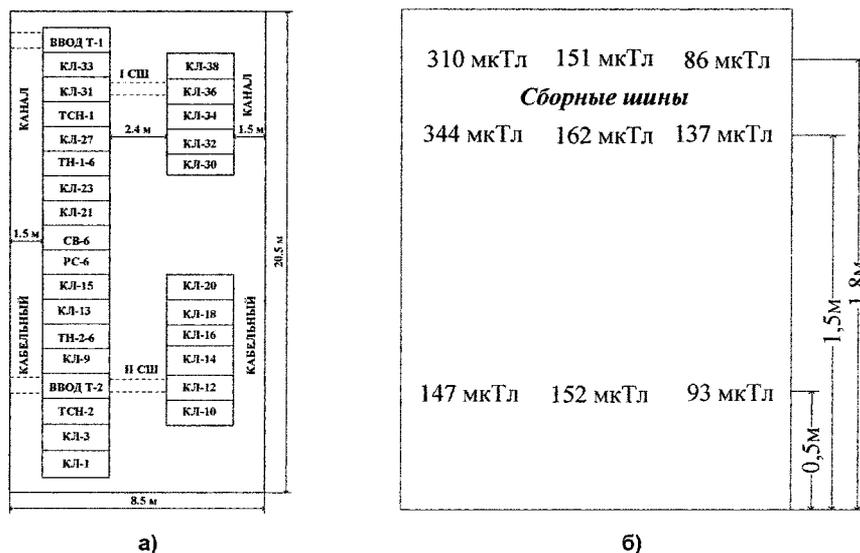


Рис. 4. РУ-10(6) кВ: а) вид сверху; б) значения магнитной индукции вблизи вводной ячейки трансформатора Т-1 (ширина ячейки – 1,42 м; высота – 2 м)

Также в ходе испытаний было выявлено, что значения магнитной индукции около одной и той же ячейки могут существенно отличаться для различных высот измерения. Например, для ячейки отходящей линии (табл. 1):  $B_{\max(h=1,8)}=250$  мкТл,  $B_{\max(h=1,5)}=180$  мкТл,  $B_{\max(h=0,5)}=538$  мкТл. Данное отличие может объясняться тем, что на задней па-

нели ячейки на уровне 0,5 м и 1,5 м от уровня пола находятся стеклянные окошки длиной 24 см и шириной 14 см, предназначенные для наблюдения за состоянием токоведущих частей – силовых кабелей; чем ближе кабели находятся к стеклу, тем больше величина магнитной индукции, что напрямую влияет на электробезопасность обслуживаю-

Таблица 1

Результаты измерений

№ п/п	Место измерения	h, м	I, А	I <sub>max</sub> , А	Вблизи ячейки		На расстоянии 0,5 м	
					B <sub>max</sub> , мкТл	H <sub>max</sub> , А/м	B <sub>max</sub> , мкТл	H <sub>max</sub> , А/м
1	Ячейка ввода трансформатора	1,8	320	1500	287	228	159	127
		1,5			239	190	94,3	75
		0,5			170	135	35,2	28
2	Ячейка отходящей КЛ	1,8	120	400	180	144	93,2	74,2
		1,5			147	117	76,6	60,9
		0,5			118	94	39,3	31,3
3	Ячейка отходящей КЛ	1,8	400	1000	250	199	78,8	62,6
		1,5			180	143	70,0	55,7
		0,5			538	428	42,5	33,8

шего персонала и не учитывается при проектировании КРУ. Таким образом, необходимо проведение мероприятий по экранированию магнитного поля в данных зонах.

Было отмечено, что магнитная индукция вблизи задней панели ячейки распределяется неравномерно, это особенно заметно для вводных ячеек (рис. 4, б).

В процессе измерения была рассмотрена одна подстанция с постоянным дежурным персоналом. Закрытое распределительное устройство 6 кВ данной подстанции занимает 3 этажа: на верхнем

(3-м) этаже находятся ячейки с шинными разъединителями (4 ряда ячеек, есть проход между рядами, а также между рядом и стеной сооружения), на 2-м этаже – ячейки с выключателями отходящих линий (2 ряда ячеек, есть проход между рядами, а также между рядом и стеной сооружения), на нижнем (1-м) этаже – ячейки отходящих кабельных линий, выключатели вводов и шиносоединительный выключатель (2 ряда ячеек, которые расположены вплотную к стенам сооружения). Осмотры ЗРУ-6 кВ проводятся каждый день, при проведении ремонтных работ обслуживающий

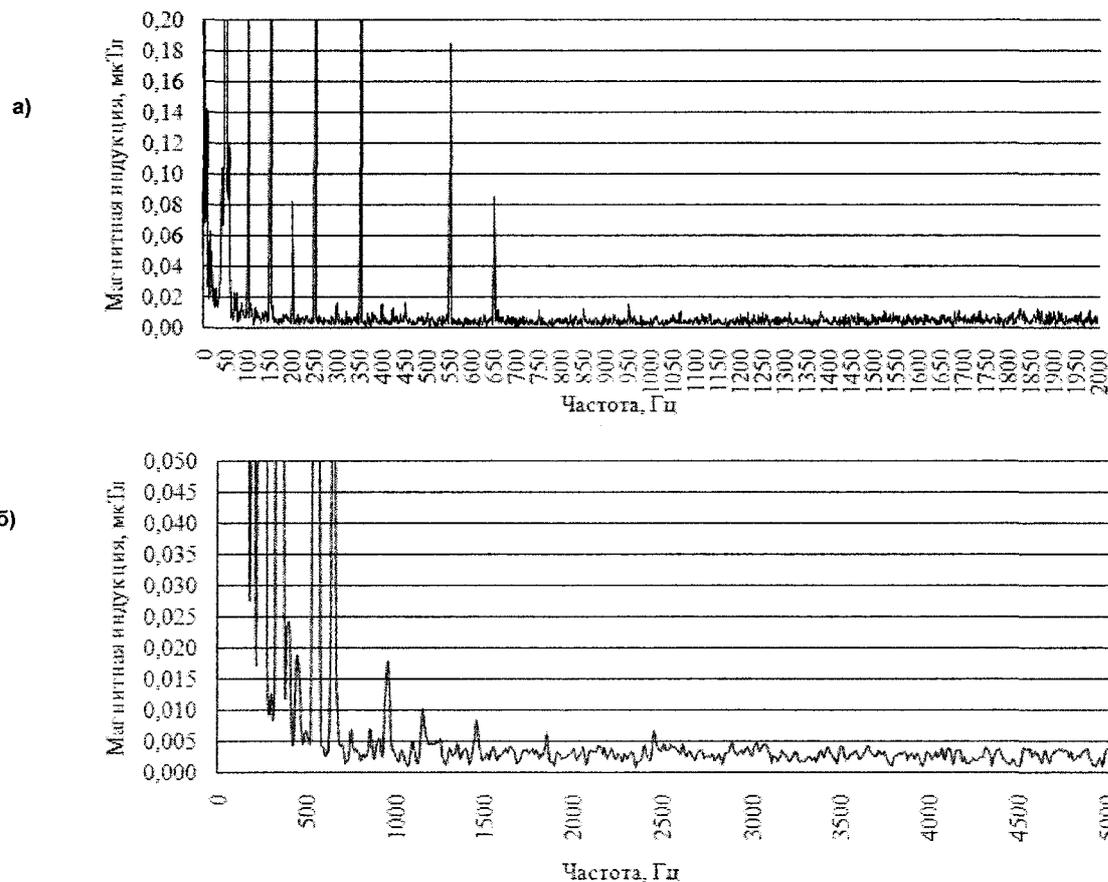


Рис. 5. Спектральный состав магнитного поля на расстоянии 0,5 м от задней панели ячейки ввода трансформатора (I=780 А,) на высоте 1,5 м (при частоте 50 Гц B=70 мкТл; при 150 Гц B=1,1 мкТл; при 250 Гц B=1,2 мкТл, при 350 Гц B=0,41 мкТл): а) в диапазоне 5 Гц – 2 кГц; б) в диапазоне 40 Гц – 5 кГц

Результаты измерения магнитной составляющей на 3 этаже ЗРУ-6 кВ

№ п/п	Место измерения	h, м	I, А	I <sub>max</sub> , А	Вблизи ячейки		Посередине прохода между двумя рядами ячеек	
					B <sub>max</sub> , мкТл	H <sub>max</sub> , А/м	B <sub>max</sub> , мкТл	H <sub>max</sub> , А/м
1	Ячейка шинного разъединителя КЛ	1,8	120	300	212	169	116	92,1
		1,5			147	117	110	87,7
		0,5			108	85,5	73,8	58,7
2	Ячейка шинного разъединителя ввода трансформатора 6 кВ	1,8	962	2755	597	475	219	175
		1,5			468	372	182	145
		0,5			375	298	122	96,9
3	Ячейка шинного разъединителя КЛ	1,8	160	400	232	185	160	127
		1,5			165	131	150	119
		0,5			125	99,3	105	83,5

персонал может находиться в ЗРУ в течение всего дня. Все отходящие линии являются кабельными. Измерения проводились с учётом конструкции ячеек на высоте 0,5; 1,5 и 1,8 м относительно уровня пола на всех трёх этажах с той стороны ячейки, где находятся токоведущие части.

Некоторые результаты измерений представлены в табл. 2. Можно предположить, что достаточно высокие значения магнитной индукции и напряжённости магнитного поля даже на расстоя-

нии от ячейки объясняются близостью секций шин 6 кВ, которые в данном распределительном устройстве не помещаются в металлические кожухи, что также необходимо учитывать в нормативных документах для подстанций данного типа.

В ходе измерений были также произведены замеры электрической составляющей ЭМП и ее спектрального состава (рис. 6). Значения напряжённости электрического поля не превышают ПДУ [4] (меньше 5 кВ/м).

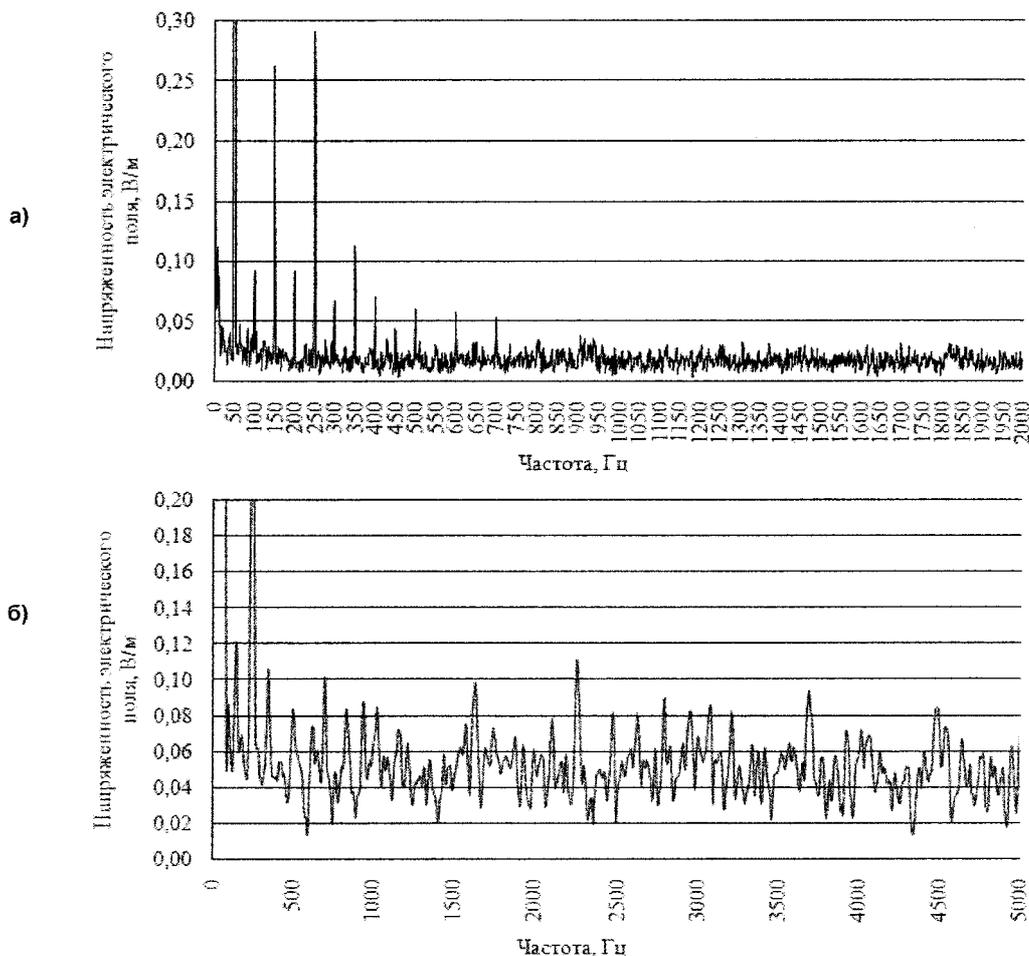


Рис. 6. Спектральный состав электрического поля позади ячейки ввода 6 кВ посередине канала на высоте 1,5 м от уровня пола (при частоте 50 Гц E=13,3 В/м): а) в диапазоне 5 – 2000 Гц; б) в диапазоне 40 Гц – 5 кГц

На стадии проектирования электроустановки [4] допускается определение уровней магнитных полей расчётным способом с учётом технических характеристик источника электромагнитного поля по методикам (программам), обеспечивающим получение результатов с погрешностью не более 10 %, а также по результатам измерений уровней электромагнитных полей, создаваемых аналогичным оборудованием.

В соответствии с этим в качестве расчётного способа определения уровня магнитного поля в электроустановках может быть предложено суперкомпьютерное моделирование с помощью программного продукта ANSYS.

Программный продукт ANSYS [8] основан на методе конечных элементов. Сущность данного метода состоит в аппроксимации исследуемого тела некоторой моделью, которая представляет собой совокупность элементов с конечным числом степеней свободы. Эти элементы взаимосвязаны только в узловых точках, куда прикладываются фиктивные силы, эквивалентные поверхностным напряжениям, распределённым по границам элементов. Моделирование в программном пакете ANSYS предполагает несколько основных этапов: выбор типа решаемой задачи, выбор типа конечных элементов, задание реальных констант, задание свойств материала, создание геометрии модели, генерация сетки (конечно-элементной модели), задание нагрузок и граничных условий, т.е. определение внешних воздействий на объект, решение, просмотр результатов расчёта в постпроцессоре. Решение физических задач в программе ANSYS представляется в виде непрерывных распределённых значений физических величин.

Предполагается разработка с помощью программы ANSYS модели для определения магнитного поля, созданного током электроустановки, (например, кабельной линии), действующего на человека (электромонтёра), находящегося в непосредственной близости от данной электроустановки (рис. 7). Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд пробных задач, составить более простые модели.

#### Выводы

При измерении магнитной составляющей электромагнитного поля промышленной частоты в распределительных устройствах 10(6) кВ необходимо:

1) рассматривать совместное воздействие магнитного поля промышленной частоты и высокочастотных гармоник;

2) учитывать конструкцию подстанций, типы ячеек КРУ (расположение токоведущих частей в ячейке), виды работ обслуживающего персонала, выполняемых в распределительном устройстве;

3) особое внимание уделять вводным ячейкам, ячейкам наиболее загруженных отходящих линий и ячейкам, не помещённым в металлические кожухи;

4) проводить обязательные замеры вблизи окошек при их наличии.

Проведённые исследования на 11 подстанциях с числом замеров более 2000 показали наличие зон, опасных с точки зрения воздействия магнитного поля промышленной частоты (при сопоставлении с нормативными документами [4]), что необходимо учитывать при проектировании КРУ подстанций и проведении эксплуатационных работ.

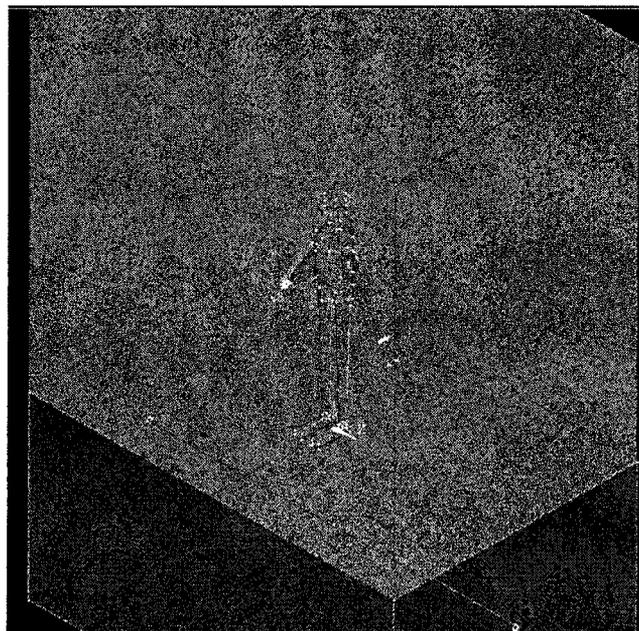


Рис. 7. Разработанная в программном продукте ANSYS геометрия модели для определения действия магнитного поля, созданного током кабельной линии, на человека

Моделирование магнитного поля, созданного током электроустановки, позволит определить уровень напряжённости (индукции) магнитного поля на рабочих местах на этапе проектирования КРУ.

### Литература

1. Коржов, А.В. Теоретическое и экспериментальное исследование уровней электромагнитных полей вблизи силовых кабельных линий напряжением 6–10 кВ / А.В. Коржов, А.И. Сидоров // Технологии ЭМС. – 2009. – № 1. – С. 4653.

2. Сидоров, А.И. Электромагнитные поля вблизи электроустановок сверхвысокого напряжения: монография / А.И. Сидоров, И.С. Окраинская. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 204 с.

3. Рябов, Ю.Г. Сохранение здоровья и работоспособности персонала современных производственных рабочих мест и населения путем обеспечения комфортных электромагнитных условий

в среде обитания человека / Ю.Г. Рябов, Ю.В. Андреев // Технологии ЭМС. – 2002. – № 1. – С. 3–12.

4. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» (с изменениями на 2 марта 2009 года).

5. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.723-98 «Переменные магнитные поля промышленной частоты (50 Гц) в производственных условиях».

6. Сборник производственных инструкций оперативно-диспетчерского персонала. – Курган: Российское Акционерное общество «ЕЭС России», Акционерное общество Курганэнерго, Курганские электрические сети, 2002.

7. [http://www.emftest.ru/files/EFA-300\\_DS\\_RU.pdf](http://www.emftest.ru/files/EFA-300_DS_RU.pdf)

8. Чигарев, А.В. ANSYS для инженеров: справ. пособие / А.В. Чигарев, А.С. Кравчук, А.Ф. Смалюк. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 512 с.

Поступила в редакцию 15.01.2011 г.

**Коржов Антон Вениаминович.** Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрические станции, сети и системы», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Область научных интересов – электромагнитные процессы в кабельных сетях, оценка остаточного ресурса изоляции силовых кабелей. Контактный телефон: 8 (351) 267-92-46.

**Korzhev Anton.** Candidate of Science (Engineering), an associate professor of the Electrical Power Stations, Mains and Systems Department of South Ural State University, Chelyabinsk. Research interests: electromagnetic processes in cable networks, estimation of the remaining residual life of the power cables insulation. Tel: 8 (351) 267-92-46.

**Малышева Ольга Михайловна.** Аспирант кафедры «Безопасность жизнедеятельности», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Область научных интересов – охрана труда в электроэнергетике.

**Malysheva Olga.** A postgraduate student of the Life Safety Department of South Ural State University, Chelyabinsk. Research interests: labour safety in power engineering.