

УДК 620.9+577.4.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭКОЛОГИЯ. ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

КАСИМЗАДЕ М.С., САЛАХОВ В.М.

АзНИИ Энергетики и Энергетического Проектирования

ЧАСТЬ II

В I части статьи были изложены некоторые общенаучные вопросы электромагнитной безопасности, механизм биологического действия ЭМП на человека. В настоящей II части основное внимание уделено методам и средствам защиты человека от отрицательного влияния ЭМП, обеспечению электромагнитной безопасности обслуживающего персонала ЭЭС.

ЗАЩИТА ЧЕЛОВЕКА ОТ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ЭМП

Защита человека от вредного влияния ЭМП имеет целью исключение или же минимизацию поглощаемой организмом электромагнитной энергии при нахождении в зоне действия ЭМП. Эта защита строится на следующих направлениях:

1. организационные мероприятия
2. инженерно – технические мероприятия
3. лечебно – профилактические мероприятия

В тоже время следует продолжить дальнейшие углубленные исследования по всем аспектам электромагнитной безопасности, как медико – биологического, так и технического направлений. В контексте общего экологического образования расширить просветительно – разъяснительную работу как среди профессионалов, так и среди населения.

Основу организационных мероприятий составляет защита временем и защита расстоянием, обозначение и ограничение зон повышенного уровня ЭМП.

Защита временем – ограничение времени пребывания человека в зоне с повышенным уровнем ЭМП в зависимости от интенсивности плотности потока энергии источника.

Защита расстоянием – ограничение расстояния между объектом облучения и источником, учитывая, что интенсивность плотности потока энергии уменьшается обратно пропорционально расстоянию - для магнитного поля и обратно пропорционально квадрату этого расстояния - для электрического поля.

Для каждой установки, излучающей электромагнитную энергию, должны устанавливаться санитарно – защитные зоны, в которых интенсивность ЭМП превышает предельно – допустимые уровни (ПДУ). Эти зоны излучения ограждаются, либо устанавливаются предупреждающие знаки с надписью "не входить, опасно".

Инженерно – технические защитные мероприятия строятся на принципе более строго учета требований электромагнитной безопасности, как на стадии проектирования и строительства объектов, так и их эксплуатации. На существующих объектах применяется экранирование ЭМП непосредственно в местах пребывания человека, либо мероприятия по ограничению эмиссионных параметров источника поля (это применяется, в основном, на стадии проектирования изделия).

Обычно подразумеваются два типа экранирования:

Экранирование источников от людей, людей от источника (экраны заземляются, при этом интенсивность ЭМП в зоне защиты резко уменьшается).

Для защиты от электрического поля ПЧ, создаваемого ЛЭП ВН, устанавливаются санитарно-защитные зоны, а для снижения напряженности поля в жилых зданиях в местах возможного пребывания людей применяются защитные экраны. Защита от магнитного поля ПЧ вокруг электроэнергетических объектов практически затруднительна. Обычно она осуществляется на стадии проектирования и сооружения. При экранировании ЭМП радиочастотного диапазона используются разнообразные радиоотражающие и радиопоглощающие материалы. Для уменьшения магнитного поля ЛЭП предлагается применение направленных контурных экранов [1].

Лечебно – профилактические мероприятия. К этим мероприятиям относятся:

1. Организация и проведение контроля выполнения гигиенических нормативов, режимов работы персонала, обслуживающего источники ЭМП. Эти требования предписываются также законодательством об охране труда, предусматривающим аттестацию рабочих мест на электромагнитную безопасность. Текущий гигиенический контроль проводится, как правило, 1 раз в 3 года, и каждый раз после изменения характеристик или структуры оборудования

2. Проведение периодического медицинского осмотра работников, выявление заболеваний, обусловленных неблагоприятными факторами электромагнитной среды.

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ, ДОЗИМЕТРИИ ЭМП ПЧ

Как уже указывалось, экспериментальные методы являются весьма эффективными при исследованиях ЭМП, определении их параметров, в особенности в зонах пребывания человека. При этом необходимо располагать соответствующими информационно – измерительными средствами.

Измерения могут носить научный или прикладной характер. Исходя из этого, средства измерения возможно классифицировать на 3 группы.

1. переносные (мобильные) средства измерения для определения характеристик ЭМП в зонах вблизи определенных объектов, внутри жилых и производственных помещений.

2. стационарные средства для проведения длительных исследований (мониторинга) количественно - временных характеристик ЭМП в определенных местах.

3. миниатюрные индивидуальные средства для определения интенсивности полей или дозы, поглощенной владельцем электрической и магнитной энергии (дозиметры).

По конструкции средства измерения ЭМП ПЧ могут выполняться с выносным чувствительным органом (зондом) или в едином корпусе, с цифровым отсчетом показаний. Приборы для научных исследований могут содержать устройства интегрирования, микроконтроллеры, микропроцессорные элементы записи данных в течение определенного времени. По типу первичного чувствительного элемента (датчика) средства измерения электрических полей (ЭП ПЧ) строятся, в основном, на принципе конденсаторного датчика, а для измерения магнитных полей - на принципе электромагнитной индукции – катушек с воздушным или ферромагнитным датчиками, или преобразователей на эффекте Холла. По структуре первичного преобразователя – однокомпонентного или трехкомпонентного, определяющего значения вектора напряженностей электрических или магнитных полей через их проекции на 3 ортогональные оси координат. Такие приборы более удобны в эксплуатации, поскольку в процессе измерений отпадает необходимость их ориентации в пространстве. Основные технические и метрологические характеристики средств измерения параметров ЭМП ПЧ должны учитывать специфические условия их применения в электроэнергетике. Иметь минимальные масса – габаритные показатели,

достаточный динамический диапазон и чувствительность, порог чувствительности, простоту эксплуатации и ремонтную пригодность, возможность дистанционных измерений, малое энергопотребление, защиту от электромагнитных помех (электрических для ИНМП, магнитных для ИНЭП).

Существующие информационно – измерительные средства не полностью удовлетворяют предъявляемым специфическим требованиям. Поэтому в АзНИИ и ЭП в сотрудничестве с институтом Физики НАН Азербайджана разработан ряд средств измерения и дозиметрии ЭМП на объектах ВН, СВН электроэнергосистемы, аттестации рабочих мест на электромагнитную безопасность [2]. Ниже приводятся структурные схемы некоторых из них (рис.1).

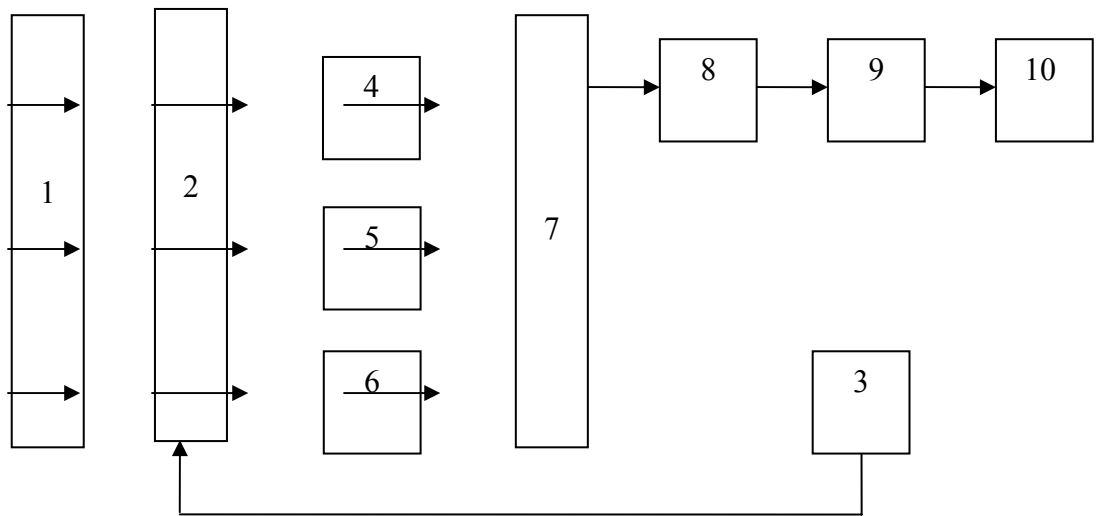


Рис.1. Трехкоординатный измеритель напряженности электрического поля промышленной частоты (ИНЭП ПЧ)

1- 3-х координатная антенная система; 2- входной 3-х координатный аттенуатор; 3- калибровочный генератор; 4,5,6–согласующие усилители-формирователи; 7- пьезоэлектрический суммирующий модуль; 8 – согласующий элемент; 9 – схема усиления и амплитудного детектирования; 10 – отсчетное устройство, 3-х координатная антенная система (1) состоит из трех, расположенных взаимно перпендикулярно, емкостных датчиков.

Важной особенностью схемы является применение в ней пьезоэлектрического сумматора ПСМ (7), на выходе которого формируется сигнал, пропорциональный модулю составляющих входных сигналов [3, 4].

$$|u(t)| = k \sqrt{[u_x(t)]^2 + [u_y(t)]^2 + [u_z(t)]^2}$$

Применение пьезосуммирующего модуля [4] вместо традиционных электронных компонентов позволит упростить схему, намного уменьшить энергопотребление, повысить надежность, уменьшить массо - габаритные показатели прибора.

Диапазон измерения прибора, кВ/м 0 – 45
 Поддиапазоны, кВ/м 0 – 3,3
 0 – 10
 0 – 45

Относительная погрешность измерений, - не более 5%.

Порог чувствительности - не хуже 0,1 кВ/м.

Прибор выполнен в совмещенном варианте, в виде металлического шара диаметром 12 см с автономным аккумуляторным питанием. Масса -не более 0,6 кг.

ДОЗИМЕТР МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ. (ДМП ПЧ)

С позиции энергетического механизма биологическое действие ЭМП может быть охарактеризовано поглощенным человеком количеством (дозой) электромагнитной энергии при облучении – W .

При этом

$$W = \sigma \cdot S, \quad (1)$$

где σ - плотность потока мощности электромагнитной энергии (Вт/м^2), S - поглощающая поверхность тела человека (м^2).

Электромагнитная энергия, заключенная в каком-нибудь элементе объема dv среды при постоянстве ε, μ , выражается зависимостью [5]

$$dw = \left(\frac{\varepsilon E^2}{2} + \mu \frac{H^2}{2} \right) dv \quad (2)$$

в которой,

$\frac{\varepsilon E^2}{2} dv$ - энергия электрической составляющей dW_e , а $\mu \frac{H^2}{2} dv$ - энергия магнитной составляющей dW_m . ε, μ - соответственно электрическая и магнитная проницаемости среды.

Из (1) и (2) следует, что при прочих равных условиях поглощенная человеком доза магнитной энергии будет определяться значением напряженности магнитного поля H и длительностью облучения – экспозицией. Санитарными правилами и нормами (САНПИН) по электромагнитной безопасности нормируются допустимые длительности пребывания человека в магнитных полях промышленной частоты (50 Гц) различных напряженностей. Поэтому определение дозы поглощенной магнитной энергии при заданных значениях H сводится к определению времени пребывания в магнитных полях соответствующих H , т.е. к способу защиты временем

Разработанный ДМП ПЧ, основанный на методе косвенных измерений и предназначенный для применения в электроэнергосистемах (ЭЭС), позволяет определить суммарное приведенное время (T) пребывания персонала в зонах с различными значениями H .

Значение T определяется из соотношения (3)

$$T = 8 \left(\frac{t_{np1}}{T_{np1}} + \frac{t_{np2}}{T_{np2}} + \dots + \frac{t_{npi}}{T_{npi}} \right) \quad (3)$$

в котором, $t_{np1}, t_{np2}, t_{npi}$ - фактическое время пребывания в МП напряженностями H_1, H_2, \dots, H_i .

$T_{np1}, T_{np2} \dots T_{npi}$ – нормативные значения продолжительности пребывания в МП с напряженностями $H_1, H_2 \dots H_i$.

Блок схема прибора приведена на рис.2.

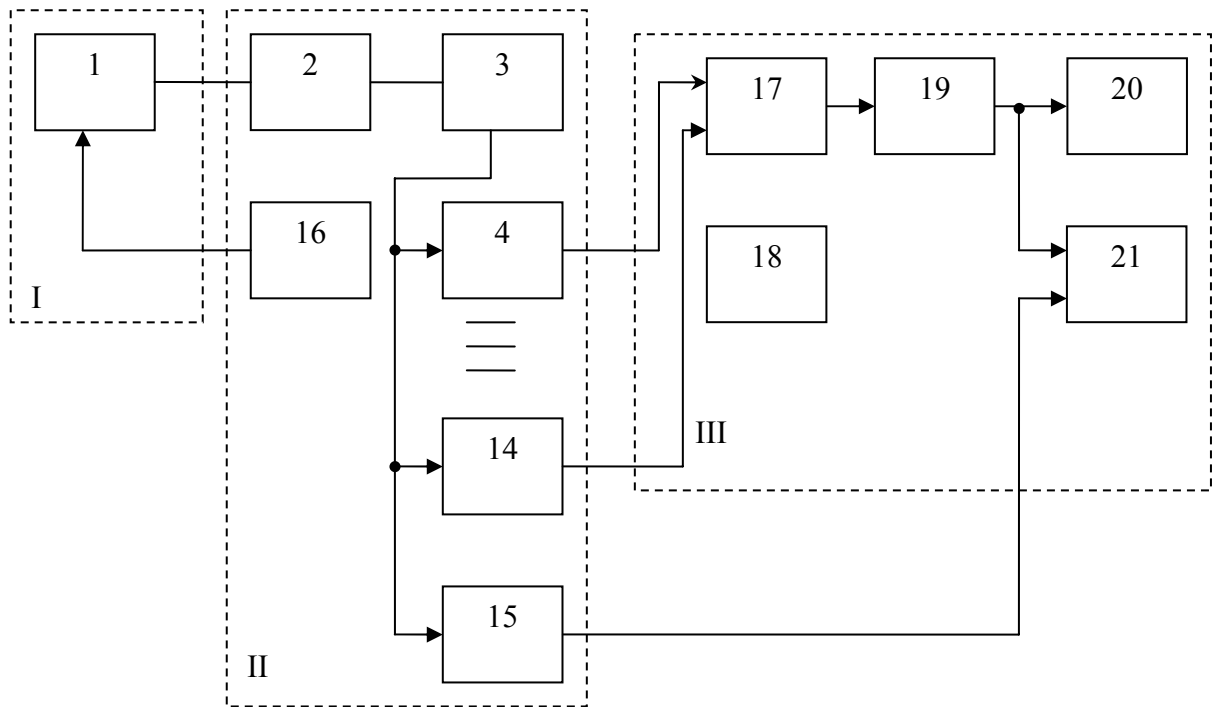


Рис.2. Блок схема ДМП ПЧ

Прибор состоит из трех блоков:

I – выносной зонд (приемный узел) с чувствительным элементом на датчике Холла (ДХ) с пермалловым концентратором

II Блок аналоговой обработки, содержащий:

2- усилитель; 3- выпрямитель; 4-15 – компараторы; 16 – генератор питания ДХ

III Блок цифровой обработки и индикации, содержащий:

17- постоянное запоминающие устройства (ПЗУ); 18- генератор опорной частоты; (ГОЧ); 19- программируемый счетчик; 20- индикатор; 21- устройство световой и звуковой сигнализации.

Устройство 21 срабатывает в двух случаях: при достижении счетчиком величины 8 часов, и по сигналу от компаратора 15, когда напряженность магнитного поля достигает предельно – допустимого значения ($H_{п.д.} \leq 4000 \text{ А/м}$).

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭМП ПЧ В АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ЭЭС "АЗЕРЭНЕРЖИ"

С целью определения состояния электромагнитной безопасности и принятия мер защиты в продолжении ряда лет проводятся натурные исследования ЭМП ПЧ на системообразующих подстанциях высокого напряжения и ЛЭП ЭЭС "Азерэнержи". По их результатом составлены обстоятельные научно – технические отчеты, карты напряженностей электрических и магнитных полей, представленные на соответствующие объекты для практического использования в повседневной деятельности [6-8].

Ниже в таблице приводятся итоговые данные о значениях напряженностей электрических и частично магнитных полей на исследованных объектах.

Для выявления влияния сезонных факторов, реконструкции и модернизации оборудования подстанций на уровень электрических и магнитных полей, на ряде из них проводились повторные измерения в различные времена года. Методически измерения осуществлялись вблизи отдельно установленного высоковольтного оборудования на

высоте человеческого роста – 1,8 м, на расстоянии 1 м от них, также по дорожкам движения обслуживающего персонала, в ряде случаев под ВЛ, прилегающих к данной подстанции.

Таблица

Значения напряженностей электрических и магнитных полей на объектах ВН электроэнергосистемы "Азербэрги"

№ п/ст	Название, тип номинальное напряжение (кВ) объекта	Дата проведен. измерен. (месяц, год)	Значения напряженностей электрических полей E (кВ/м), магнитных полей H (А/м)	Примечание	
1	2	3	4	5	
1.	П/ст "АзГРЭС" Открытого типа 500/330	1993	ОРУ 500 кВ - E= 4-19 ОРУ 330 кВ - E= 5,6-20	замена выключатели на элегазовые	
2.	Тоже, после модернизации оборудования	VIII 2001	ОРУ 500 кВ - E= 3,5-18 ОРУ 330 кВ - E= 5,5-17		
3.	П/ст "Имишли" открытого типа 330/110	III 2000	ОРУ 330 кВ - E= 8-13 ОРУ 110 кВ - E= 8-9,5		
4.	ЛЭП 330 кВ от п/ст "Имишли"	III 2000	на расстоянии 800 м от п/ст под ВЛ 330 кВ – E=0,7-1,0		
5.	П/ст "Абшерон" открытого типа 500/330/220	X 1995	ОРУ 500 кВ - E= 4-10 ОРУ 330 кВ - E= 8-10 ОРУ 110 кВ - E= 6-8		
6.	Тоже, после модернизации оборудования	IV 1996	ОРУ 500 кВ, ОРУ 330 кВ, ОРУ 110 кВ.		Значения E отличаются от значений 1995 г. на 5-8 %
7.	П/ст "Говсан" 220/110, открытого типа	IX 1996	ОРУ 220 кВ - E= 6.5-7.5 ОРУ 110 кВ - E= 5		
8.	Тоже повторно	VII 1997	ОРУ 220 кВ ОРУ 110 кВ		в некоторых точках отклонения значений E по сравнению со значениями 1996 года составляет 6-8%

1	2	3	4	5
9.	П/ст "Али-Байрам-линская ГРЭС" 330/220/110 открытого типа, сооружена в период 1962-1968	VI 2002	ОРУ 330 кВ - E= 5,5-20 ОРУ 220 кВ - E= 6-15 ОРУ 110 кВ - E= 5-10	
10.	П/ст "Ганджа" 220/110, открытого типа, сооружена в 1967 году	VI 1997	ОРУ 220 кВ – E ≤13 ОРУ 110 кВ – E ≤ 6	
11.	П/ст "Акстафа" 330/110 открытого типа, сооружена в 1959 году, реконструирована в 1965	VII 1998	ОРУ 330 кВ - E= 16-18 ОРУ 110 кВ - E= 5-6	
12.	П/ст "Яшма" 330/220/100 открытого типа, введена в строй в 1970	IV 1999	ОРУ 330 кВ - E= 7-12 ОРУ 220 кВ - E= 6-10 ОРУ 110 кВ - E= 7,5-8	
13.	П/ст "Мушфик" 220/100 открытого типа, введена в строй в 1987 году	X 1997	ОРУ 220 кВ - E= 9-10 ОРУ 110 кВ - E= 5,5-9	средство биозащиты отсутствует
14.	Тоже повторно	III 1998	ОРУ 220 кВ - E= 8-10 ОРУ 110 кВ - E= 8-9	
15.	П/ст "Низами" 220/110 закрытого типа, введена в строй в 1993 году.	VIII 1996	ЗРУ 220 кВ - E= 9 ЗРУ 110 кВ - E=5	В некоторых местах имеются средства биозащиты
16.	Тоже повторно	I 2004	ЗРУ 220 кВ E ≤ 6-18 H ≤ 61 ЗРУ 110 кВ E ≤ 6,5 H ≤ 86	

1	2	3	4	5
17.	П/ст "промышленного узла Сумгаит" 220/110 закрытого типа, введен в строй в январе 2001 года	I 2002	ЗРУ 220 кВ - E= 10-16 ЗРУ 110 кВ - E= 20-25	В зонах измерений по предложению персонала E>25 кВ/м В зонах Измерений по предложению персонала E>20 кВ/м
18.	П/ст "Сангачал" 220/110 открытого типа, введена в строй в 1982 году	V 2003	ОРУ 220 кВ - E≤ 15 , H≤2,5 ОРУ 110 кВ - E≤ 8, H≤3,9	
19.	П/ст "Агсу" 220/110 открытого типа, введена в строй в 1980 году	VII 2003	ОРУ 220 кВ - E= 10-18, H= 5-20 ОРУ 110 кВ - E ≤ 5, H≤2-5	
20.	П/ст "Агджабеди" 330/110	VI 2004	ОРУ 330 кВ - E= 18-25, H=2-19 ОРУ 110 кВ - E=6-18, H=4-30	

Анализ результатов экспериментов показывает неблагоприятное состояние электромагнитной безопасности на объектах ВН ЭЭС "Азербэнеджи". На всех из них на рабочих местах уровень напряженности электромагнитных полей превышает нормальное длительно - допустимое значение $E \leq 5$ кВ/м, что указывает на необходимость проведения соответствующих защитных мероприятий. Особенно выделяется подстанция "Сумгаитского промузла" закрытого типа, на которой, как на ЗРУ 220 кВ, так и особенно на ЗРУ 110 кВ, наблюдаются напряженности электрического поля, равные или большие предельно допустимого значения $E \leq 25$ кВ/м. Учитывая зависимость напряженности электрического поля (E) от диэлектрической постоянной среды (ϵ), меняющейся, в свою очередь, от состоянии атмосферной среды, можно было ожидать изменения E в зависимости от сезонных факторов. Между тем исследования показали, что в климатических условиях Азербайджана эти изменения незначительны.

Реконструкции, модернизация оборудования, как и следовало ожидать, сказываются на уровне E. Например, на п/ст "АзГРЭС" при замене воздушных выключателей на элегазовые уровень E снижается от 5,5-16 кВ/м до (5-10) кВ/м, что

объясняется, в основном, изменением расстояний от токоведущих элементов оборудования до точки измерений.

Натурные исследования магнитных полей, проведенные в мае месяце 2003 года на подстанции 220/110 кВ "Сангачал" и в июле месяце 2003 года на подстанции "Агсу" 220/110 кВ, показали, что во всех зонах, часто посещаемых персоналом подстанции, в которых измерялись электрические поля, значения напряженностей магнитных полей на подстанции "Сангачал" составляют $H = 2,5-3,9$ А/м, а на подстанции "Агсу" $H = 12-20$ А/м, но находятся в пределах длительно - допустимых значений $H \leq 400$ А/м.

В тоже время, исследования, проведенные на подстанции 220/110 кВ "Низами" в январе месяце 2004 года в вечернее время, когда оборудование работает в режиме больших токов нагрузки, значение НМП доходит до $H = 60-86$ А/м, т.е. находится в пределах длительно допустимых значений (Нд.д. ≤ 400 А/м) по нормам ВОЗ. А по более жестким нормам Российской Федерации даже несколько превосходит эту норму (Нд.д. ≤ 80 А/м).

В качестве мероприятий по защите от электрических полей целесообразно:

а) границы зоны с высоким уровнем E отметить знаками опасности и соответственно отмаркировать

б) строго ограничивать время пребывания персонала в зонах с E больше длительно-допустимых значений, применять дозиметры электрического поля

в) применять экранирование простыми по устройству и дешевыми по стоимости стационарными средствами биологической защиты: в виде заземленных сеток, металлических козырьков, навесов и др. Измерения, проведенные в зонах с указанными видами биозащиты, показали достаточную их эффективность, значительное снижение уровня E в этих зонах.

-
1. *Дикой В.П., Коробков Н.М., Токарский А.Ю.* Экранирование магнитных полей ВЛ СВН с помощью направленных контурных экранов. Материалы III международной конференции. "Электромагнитные поля и здоровье человека. Фундаментальные и прикладные исследования". Москва – Санкт-Петербург. 2002 г. Стр. 149
 2. *Касимзаде М.С., Керимов Р.Э., Ибрагимов М.Г.*, Средства измерения и контроля неионизирующих излучений от электроэнергетических объектов. Тезисы докладов научно – технической конференции "Измерительные информационные системы" международное научно-техническое общество приборостроителей–ИИС-94. М.1994 г.
 3. *Касимзаде М.С., Керимов Р.Э.*, Трехкоординатный измеритель напряженности электрического поля. Ж. Электрические станции, № 8, 1988, с. 85
 4. *Касимзаде М.С., Керимов Р.Э.* и др. Пьезоэлектрический сумматор. Авт.свид. СССР, № 898444, 1981
 5. *Атабеков Г.И., Купалов С.Д., Тимофеев А.Б., Хухриков С.С.* Теоретические основы электротехники. Части II – III. "Энергия", М. 1966, с. 200
 6. *Касимзаде М.С., Мамедов И.М., Керимов Р.Э., Ибрагимов М.Г.*, Проблемы электромагнитной безопасности в электроэнергетической системе Азербайджанской Республики. Тезисы докладов Всероссийской Электротехнической Конференции с международным участием ВЭЛК-99. Том II. Москва, 1999.
 7. *Касимзаде М.С., Айдаев Ф.Ш., Мамедов И.М.* Исследование неионизирующих электромагнитных полей в электроэнергосистеме Азербайджанской Республики. Материалы III международной конференции "Электромагнитные поля и здоровье человека. Фундаментальные и прикладные исследования". Москва, Санкт-Петербург. 2002 г, с. 151-152.

8. *Qasimzade M.S., Aydayev F.S., Salahov V.M.* "Ecological problems of Power Engineering – Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Safety". Radiation safety problems in Caspian region. NATO science series. Kluwer academic publishers. Netherlands. 2004. p. 217-223.

**ELEKTROENERGETİKA VƏ EKOLOGİYA. İNSANLARIN
ELEKTROMAQNİT TƏHLÜKƏSİZLİYİ MƏSƏLƏLƏRİ**

QASIMZADƏ M.S., SALAHOV V.M.

Məqalənin hal-hazırki 2-ci hissəsində elektromaqnit sahələrin mənfi təsirindən insanların mühafizə vasitələrinə və metodlarına, Azərbaycan elektrik enerji sistemlərində EMS-lərin natur tədqiqatların nəticələrinə baxılıb.

**ELECTRIC POWER INDUSTRY AND ECOLOGY. QUESTIONS OF
ELECTROMAGNETIC SAFETY OF THE HUMAN**

KASIMZADE M.S., SALAKHOV V.M.

Methods and means of protection of the human from negative influence EMF, results of natural researches EMF in Azerbaijan electric power systems are considered in the second part of the article.