

Из данных, представленных в таблице, видно, что при плавном изменении нагрузки потребителей допускается применение нерегулируемых КУ – таких как УКЛ56, УКЛ57 на напряжение 6.3 (10.5) кВ и нерегулируемых шунтирующих реакторов на более высокое напряжение. При резкопеременной неравномерной нагрузке у потребителей необходимо применение регулируемых КУ – таких как управляемые шунтирующие реакторы, тиристорные конденсаторные установки и СТК, которые отличаются быстродействием.

Таким образом:

1. Представленный в данной работе сравнительный анализ основных типов компенсирующих устройств позволяет выделить области их наиболее эффективного применения в зависимости от вида сети и особенностей ее функционирования.

2. Для оптимального управления потоками реактивной мощности в электрической сети необходим выбор таких типов КУ и мест их установки, которые связаны с функционированием энергосистемы как единого целого и определяют взаимодействие отдельных элементов сис-

темы (перетоки активной и реактивной мощности по линиям электропередачи, суммарные генерации отдельных станций и подсистем, потребление крупных узлов и районов, напряжение в контрольных точках системы и др.).

1. Ковалев И.Н. Выбор компенсирующих устройств при проектировании электрических сетей. – М. Энергоатомиздат. 1990.
2. Кочкин В.И. Управляемые статические устройства компенсации реактивной мощности для линий электропередачи // Электричество. – 2000. – № 9. – С. 11.
3. Попов Ю.П., Дмитриев Ю.А., Кириллина О.И. Управление компенсацией реактивной мощности в узлах промышленной нагрузки // Электрика. – 2006. – № 12. – С. 15.
4. Подъячев В.Н., Сазонов В.К., Хвоцинская З.Г. Актуальность применения управления шунтирующих реакторов в системообразующих сетях 500 кВ. // Энергетик. – 2005. – № 8. – С. 21.
5. Розанов Ю.А., Кошелев К.С., Смирнов М.И. Цифровая система управления статическим компенсатором реактивной мощности // Электричество. – 2006. – № 7.
6. Статические компенсаторы для регулирования реактивной мощности / под ред. Р.М. Матура. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
7. Карпов Ф.Ф. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях. – М.: Энергия, 1975.

Д.Н. Панькова

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ И В БЫТУ

Now there is a problem of biological electromagnetic compatibility, the analysis of electromagnetic influences on people, working in electric installations, with the further development of safe conditions for people and normal functioning of the electric equipment in a real electric network.

Изучению влияния электромагнитной обстановки как фактора негативного влияния на здоровье человека придается серьезное значение. Большое количество публикаций и сообщений посвящено повышенному риску появления заболеваний жизненно важных органов и систем у людей, длительно проживающих вблизи линий электропередачи высокого напряжения, у персонала объектов электроэнергетики напряжением выше 220 кВ при длительном воздействии электрических и магнитных полей промышленной частоты на рабочих местах и пр. Существует вероятность недооценки опасного влияния электромагнитных полей на человека.

Организации, занимающиеся вопросами нормирования воздействующих на персонал и население электрических, магнитных и электромагнитных полей, включая поля промышленной частоты – такие как Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), Международная электротехническая комиссия (МЭК), Международная ассоциация по защите от ионизирующих излучений (IRPA), Европейский комитет по нормированию в области электротехники (CENELEC) и другие – уделяют огромное внимание этим проблемам.

Электромагнитная обстановка характеризуется напряженностями электрического и магнитного полей. Согласно многочисленным исследованиям воздействия полей на человека неопасной считается плотность тока в организме примерно 10 мА/м^2 , что соответствует при частоте 50 Гц напряженности внешних полей 20 кВ/м и 4 кА/м .

На рис. 1 представлены усредненные данные, полученные в результате анализа многочисленных отечественных и зарубежных публикаций, непосредственных измерений под воздушными линиями электропередачи (ВЛ) и на открытых распределительных устройствах (ОРУ) напряжением более 220 кВ, характерных напряженностей электрических (E, В/м) и магнитных полей (H, А/м) промышленной частоты [2] объектов электроэнергетики, жилых зданий, бытовых приборов и др.

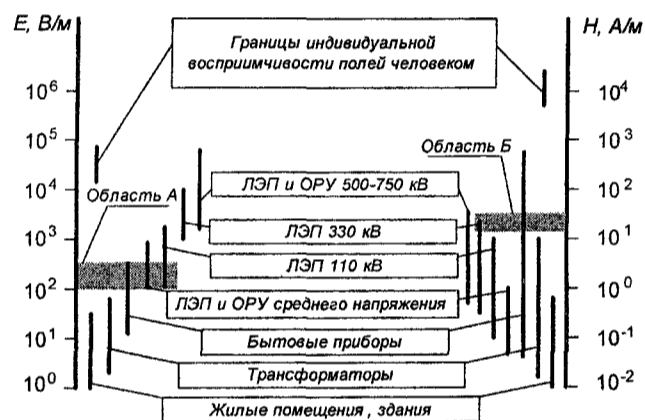


Рис. 1. Характерные напряженности ЭМП промышленной частоты.

Здания экранируют постоянное электрическое поле (ЭП) Земли 9 (на открытой местности оно составляет $100 - 500 \text{ В/м}$ – область А рис. 1) и электрическое поля промышленной частоты, созданное линиями электропередачи высокого напряжения и иными объектами. Внутри зданий постоянное электрическое поле определяется в основном наличием электризующихся природных и синтетических материалов, являющихся основой для покрытий полов, мебели, одежды, обуви и т.д.; напряженность электростатического поля в помещении может достигать десятков и сотен кВ/м.

Электрические поля возникают и вблизи некоторых приборов, не имеющих специальной защиты, использующих высокое постоянное напряжение (телевизоры, мониторы, осциллографы и т.д.).

Значение напряженности постоянного магнитного поля (МП) Земли лежит в пределах области Б (рис. 1). На постоянное поле накладывается медленно изменяющееся геомагнитное поле, порожденное токами в магнитосфере и ионосфере, содержащее широкий спектр частот, в том числе и низкочастотную (до 100 Гц) составляющую. Геомагнитные постоянные и низкочастотные поля в отличие от электрических не экранируются стенами здания и другими объектами, за исключением изготовленных из ферромагнитных материалов. Например, внутри зданий, имеющих стальной каркас, напряженность геомагнитного поля снижается в несколько раз.

В таблице приведены граничные значения напряжен-

ностей, воспринимаемых человеком и вызывающих нарушения ритма сокращений сердечной мышцы; напряженность электрического поля, приводящая к пробоям воздушных промежутков, а также некоторые нормированные напряженности по данным ВОЗ, IRPA и DIN VDE (немецкие промышленные нормы Союза немецких электротехников).

**Электромагнитная обстановка
на электроэнергетических объектах и в быту**

Наименование объекта или параметра	Напряженность электрического поля, В/м	Напряженность магнитного поля, А/м
ОРУ 500, 750 кВ	$10^3 - 5 \cdot 10^4$	10-100
ВЛ 380 кВ	$10^3 - 10^4$	1-40
ВЛ 330 кВ	$10^3 - 5 \cdot 10^3$	10-100
ВЛ 110 кВ	$10^2 - 3 \cdot 10^3$	0,1-20
ВЛ 6-35 кВ	$10 - 5 \cdot 10^2$	0,1-2
Шинный мост 6 кВ	10^3	40-100
ЗРУ 6 кВ	-	200
Жилые помещения, здания	1-100	0,01-0,5
Электробытовые приборы	5-500	0,1-300
Порог индивидуальной восприимчивости	$10^4 - 2 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^4$
Нарушение ритма сокращений сердечной мышцы	$5 \cdot 10^7$	10^6
Расчетные и экспериментальные безопасные напряженности по условиям возбуждения клеток организма	$2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^3$
Нормативные напряженности по данным ВОЗ, IRPA с учетом возможных воздействий на организм	$5 \cdot 10^3$	80
То же по данным DIN VDE	$7 \cdot 10^3$	320

Как видно из рис. 1 и таблицы, сильные ЭП промышленной частоты создаются в основном объектами электроэнергетики (линии электропередачи высокого напряжения, сборные шины подстанций, трансформаторы и аппараты высокого напряжения). В остальных случаях ЭП имеют относительно невысокие напряженности.

Напряженность МП, созданного ВЛ электропередачи, даже на расстоянии нескольких сотен метров от линии может составлять десятые доли А/м. Кабельные линии создают несколько большие напряженности вблизи них, чем воздушные, однако напряженность уменьшается заметнее при удалении от кабеля, и зона заметного поля (напряженность порядка десятых долей А/м) обычно не превышает нескольких десятков метров. Кабели и ВЛ напряжения 6-10 кВ из-за малого расстояния между фазами создают невысокие напряженности поля, и с их влиянием внутри помещений можно не считаться.

Поле трансформаторов системы электроснабжения изменяется обратно пропорционально расстоянию, и оно может быть заметным на расстоянии менее 10 м. Сети электроснабжения низкого напряжения создают поле, зависящее от несимметрии нагрузки фаз. Его напряженность

обратно пропорциональна расстоянию и может быть заметной на расстоянии до 20 м.

В производственных условиях на рабочих местах напряженность МП промышленной частоты может быть гораздо большей, чем в жилых помещениях. В экстремальных случаях – например, вблизи сварочного аппарата, электродуговой печи или непосредственно у проводов мощных ВЛ при выполнении работ под напряжением – персонал может подвергаться воздействию поля напряженностью 1-10 кА/м, что на два порядка и более превышает напряженность поля Земли.

Ориентировочные значения напряженности магнитных полей промышленной частоты, создаваемых различными устройствами, показаны в правой части рис. 1, где напряженность полей, как правило, много ниже порога восприимчивости.

Напряженность вблизи ВЛ 220 кВ и выше может достигать границы индивидуальной восприимчивости поля, когда человек по косвенным признакам (шевеление волос, ощущение покалывания при микроразрядах между телом и одеждой и т.д.) способен установить наличие поля. Напряженность ЭП, создаваемых бытовыми электроприборами, проводами систем электропитания, по амплитуде меньше, чем естественная напряженность постоянного поля Земли на открытой местности.

Магнитная обстановка внутри помещений в основном определяется постоянным полем Земли, на которое накладываются переменные поля. Амплитуда этих полей может иметь такой же порядок величин, что и переменная составляющая естественного магнитного поля Земли. Напряженность МП промышленной частоты внутри помещений может быть достаточно высокой, если вблизи проходит ВЛ электропередачи, проложены силовоточные кабели или расположены мощные электротехнические устройства. На рис. 2 показаны изменения в течение суток индукции в жилом помещении на 1 и 2 этажах дома, в 40 м от которого проходит ЛЭП 245 кВ.

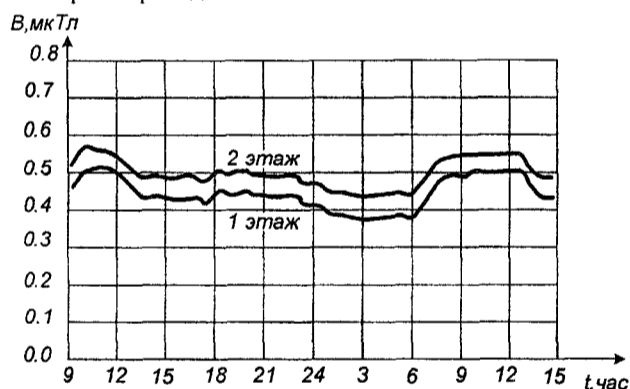


Рис. 2. Пример изменения индукции МП в здании вблизи ЛЭП напряжением 245 кВ.

В жилых помещениях в зависимости от числа, мощности включенных приборов, схемы и исполнения электропроводки напряженность поля способна меняться в широких пределах. При современном исполнении сети электропитания, отсутствии токовых петель, связанных с заземленными системами водопровода, отопления и т.д., она обычно не превышает десятых долей А/м.

Таким образом, организм человека практически не испытывает неестественного воздействия, и типичное искажение электромагнитной обстановки в быту не может рассматриваться как электросмог.

Однако на рабочих местах объектов электроэнергетики и вблизи электроэнергетических установок напряженности электрического и магнитного полей промышленных частот (50 Гц) могут быть в сотни раз выше среднего уровня естественных полей [5]. Напряженность поля под ЛЭП может достигать десятков тысяч В/м.

Одной из методик диагностирования состояния электромагнитной обстановки на объектах является построение карт распределения интенсивности электромагнитных полей.

На рис. 3 приведены примеры распределения интенсивности магнитных полей промышленной частоты в про-

изводственных помещениях, полученные в ходе натуральных измерений, выполненных специалистами испытательной лаборатории Центра электромагнитной безопасности. Суммарный ток по линиям питания однофазных и трехфазных нагрузок по фазам и магнитное поле, создаваемое протекающими в таких (без утечек) кабельных линиях

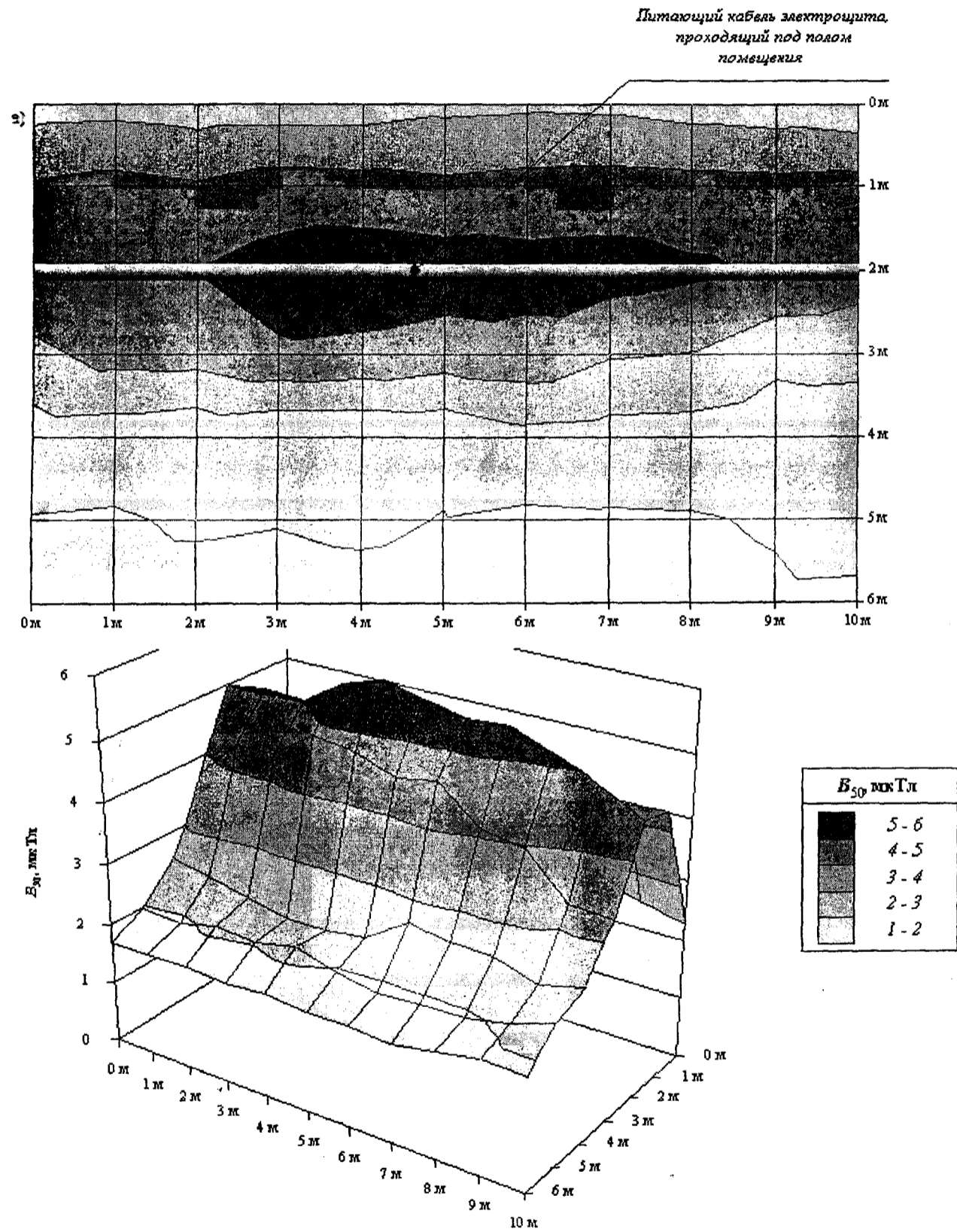


Рис. 3. Распределение интенсивности МП ПЧ в помещении на высоте 1 м от уровня пола. Источник – дисбаланс тока в электрическом кабеле, проходящем под полом помещения.

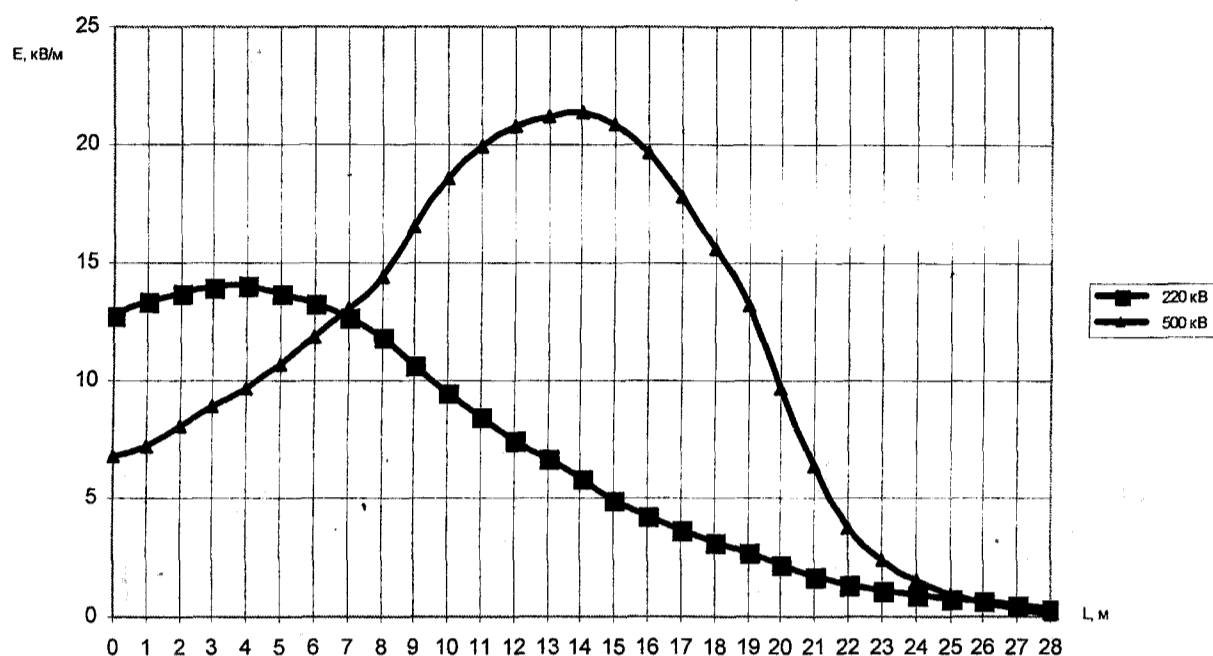


Рис. 4. Распределение напряженности электрического поля в сечении ВЛ 500 и 220 кВ.

токами в проложенных рядом друг с другом проводниках, также пренебрежимо мало. При появлении в кабельной линии тока утечки возникает дисбаланс, т.е. неравенство нулю суммарного тока по кабельной линии, что и создает в окружающем пространстве магнитное поле, медленно убывающее с увеличением расстояния от рассматриваемого кабеля. Кроме того, наличие токов утечки в системе электроснабжения здания приводит к протеканию токов по металлоконструкциям и трубопроводным системам, что также становится причиной увеличения уровней МП промышленной частоты.

Для обеспечения безопасности человека, находящегося в зоне влияния электрических (ЭП) и магнитных полей (МП) промышленной частоты, отечественными стандартами [2] регламентируются их уровни напряженности, образующиеся вблизи действующих электроустановок.

При измерении напряженности электрических и магнитных полей промышленной частоты более чем в 1000 точках непосредственно под действующими ВЛ 220 и 500 кВ [4], проходящими через дачные участки пос. Энергетик г. Братска (рис. 4), были выявлены случаи максимального значения напряженности ЭП на высоте 1,8 м, которые составляют под ВЛ 500 кВ 21,3 кВ/м и под ВЛ 220 кВ – 14,1 кВ/м, что в обоих случаях не превышает предельно допустимого значения – 25 кВ/м [2].

Согласно действующим нормам [2] пребывание человека в зоне влияния ЭП промышленной частоты с уровнем напряженности (E) более 25 кВ/м, без применения индивидуальных средств защиты, не допускается; при уровнях напряженности 20-25 кВ/м допустимое время пребывания в электрическом поле не должно превышать 10 мин. С уровнем напряженности, не превышающей 5 кВ/м, время пребывания человека в зоне действия ЭП – 8 часов, а при E = 20-25 кВ/м его пребывания в зоне действия ЭП рассчитывается по формуле:

$$T = 50 / (E - 2). \quad (1)$$

Таким образом, для ВЛ 500 кВ допустимое время пребывания человека 10 мин., для ВЛ 220 кВ – 1,5 часа. В процессе измерения напряженность магнитного поля под всеми ВЛ оказалась значительно ниже нормируемого значения в 80 А/м, при котором требуется ограничить время пребывания.

Из приведенных данных можно сделать следующий вывод.

Электромагнитная обстановка в жилых помещениях в основном определяется естественным магнитным полем. Напряженность магнитного поля промышленной частоты при включении электроприборов, как правило, не превышает 1% напряженности постоянного поля Земли. Пристального внимания заслуживают условия воздействия электромагнитных полей на человека на электроэнергетических объектах (распределительные устройства высокого напряжения), в производственных помещениях с мощными технологическими и энергетическими электроустановками, большим количеством распределительных сетей, в зонах жилой застройки вблизи высоковольтных ЛЭП.

Анализ воздействия источников ЭМП дает представления о негативном влиянии их возмущающего эффекта на электромагнитную обстановку энергетических объектов. Вследствие этого необходимо контролировать электромагнитную обстановку с использованием новых разработок в области электромагнитной безопасности, – в частности, математического описания проблемы, создания универсальных методов и средств измерения электромагнитных полей, внедрения надежных способов и средств защиты от электромагнитных полей. Необходимо проводить диагностику состояния электромагнитной обстановки в помещениях, локализовать источники поля и оптимизировать размещение рабочих мест, разрабатывать мероприятия в соответствии с инженерно – техническими, гигиеническими и лечебно-профилактическими требованиями по обеспечению защиты работающих от неблагоприятного влияния электромагнитных полей в соответствии с действующими санитарными нормами [2].

1. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике / под ред. А.Ф. Дьякова. – М.: Энергоатомиздат, 2003 г.
2. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Электромагнитные поля в производственных условиях. СанПиН 2.2.4.1191-03.-М.: – Изд-во НЦ ЭНАС, 2003.
3. Украинская И.С., Бабин А.В., Сидоров А. И., Гольштейн М.И. Общая характеристика напряженности электрического поля на ОРУ 500 кВ // Электрические станции. – 2006. – № 1. – С. 45-48.
4. Курбашкий В.Г., Панькова Д.Н., Струмельяк А.В. Исследование электрических магнитных полей воздушных линий электропередачи, проходящих в зоне жилой застройки // Вестник АмГУ. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2004. – Вып. 27. – С. 52-53.
5. Алтухов Д.А. Об электромагнитной безопасности персонала на предприятиях электроэнергетики // Промышленная энергетика. – 2007. – № 2. – С. 53-55.