

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Алтайский государственный технический
университет им. И. И. Ползунова

Е. В. Титов, А. А. Сошников

КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ ДЛЯ ВЫБОРА ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Учебно-методическое пособие

*Рекомендовано Алтайским государственным техническим университетом
им. И.И. Ползунова для студентов АлтГТУ по направлению подготовки
«Электроэнергетика и электротехника»*



ISBN 978-5-7568-1441-5



9 785756 814415

АлтГТУ

Барнаул • 2023

Об издании – [1](#), [2](#)

© Титов Е. В., Сошников А. А., 2023

© Алтайский государственный технический
университет им. И. И. Ползунова, 2023

УДК 537.8 : 631.17
ББК 31.2
Т45

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *А. И. Сидоров*,
Южно-Уральский государственный университет»
(Национальный исследовательский университет);
доктор технических наук, профессор *А. А. Багаев*,
Алтайский государственный аграрный университет

Т45 Титов, Е. В.

Контроль и оценка электромагнитной обстановки для выбора защитных мероприятий : учебно-методическое пособие / Е. В. Титов, А. А. Сошников. – Барнаул : АлтГТУ, 2023. – 105 с. – URL : http://elib.altstu.ru/uploads/open_mat/2023/Titov_KiOEodVZM_ump.pdf. – Текст : электронный.

ISBN 978-5-7568-1441-5

Рассмотрены вопросы обеспечения электромагнитной безопасности на предприятиях агропромышленного комплекса, в организациях и учреждениях различных отраслей экономики, занимающихся и / или связанных с вопросами проектирования, эксплуатации, обслуживания и ремонта систем электроснабжения городов и других населённых пунктов, промышленных предприятий и сельского хозяйства, использующих в своей деятельности электротехнические устройства и изделия, предназначенные для производства, распределения, преобразования, передачи или потребления электрической энергии.

Пособие предназначено для электротехнического персонала эксплуатационных организаций любой отрасли, специалистов в области охраны труда и безопасности жизнедеятельности, а также студентов по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника».

Учебно-методическое пособие
Минимальные системные требования
Yandex (20.12.1) или Google Chrome (87.0.4280.141) и т. п.
скорость подключения - не менее 5 Мб/с, Adobe Reader и т. п.

Дата подписания к использованию 7.03.2023. Объем издания – 3 Мб.

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46, <https://www.altstu.ru>.

ISBN 978-5-7568-1441-5

[вперед \(содержание\)](#)

© Титов Е. В., Сошников А. А., 2023
© Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, 2023

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ПРОБЛЕМА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АПК	6
1.1 Действие электромагнитных излучений на организм человека	6
1.2 Нормативные требования к электромагнитной обстановке.....	8
1.3 Классификация технологических процессов с использованием электромагнитных полей.....	22
Практические задания.....	30
Контрольные вопросы	31
2 КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ НА ОБЪЕКТАХ С ИСТОЧНИКАМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ.....	32
2.1 Способы контроля электромагнитной обстановки	32
2.2 Разработка принципов многочастотного контроля электромагнитных полей и излучений	35
2.3 Совершенствование принципов многочастотного контроля электромагнитных полей и излучений.....	36
2.4 Нормируемые диапазоны контроля электромагнитных полей.....	36
2.5 Определение допустимого времени пребывания в электростатическом поле.....	38
2.6 Определение допустимого времени пребывания в постоянном магнитном поле	39
2.7 Определение допустимого времени пребывания в электромагнитном поле частотой 50 Гц	39
2.8 Определение допустимого времени пребывания в электромагнитном поле диапазона 10 кГц - 30 кГц	40
2.9 Определение допустимого времени пребывания в электромагнитном поле диапазона 30 кГц - 300 ГГц	40
2.10 Определение допустимого времени пребывания в электромагнитном поле диапазона 30 кГц - 300 ГГц при комбинированном воздействии ЭМИ	45
Практические задания.....	48
Контрольные вопросы.....	49
3 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СПОСОБА ИНТЕГРИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ	50
3.1 Аппаратурное и программное обеспечение	51
3.2 Методика интегрированного контроля электромагнитной обстановки с использованием технологического модуля	64
Практические задания.....	67
Контрольные вопросы	68
4 ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ	69
4.1 Защита от электромагнитных излучений.....	69
4.2 Обеспечение электромагнитной безопасности процесса обработки семян в сверхвысокочастотном поле.....	74
4.3 Расчет электромагнитных экранов	87
Практические задания.....	91
Контрольные вопросы	92
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	94
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	97

Введение

В сентябре 2019 г. группа ученых из 44 стран мира – специалистов в области различных аспектов электромагнитной совместимости обратилась к Генеральному секретарю и государствам - членам ООН с призывом к усилению защиты от неионизирующего электромагнитного поля (ЭМП) и совершенствованию руководящих принципов и нормативных стандартов в связи с увеличением негативного воздействия электромагнитных полей и излучений (ЭМИ) на живые организмы [1].

В последние десятилетия в технологиях агропромышленного комплекса (АПК) нашли применение многочисленные разработки, ориентированные на использование энергии электромагнитного поля, востребованность которых будет повышаться с каждым годом.

Проведенная классификация этих разработок характеризует широкие возможности различных видов воздействия ЭМП на обрабатываемые материалы и определяет использование [2]:

- электростатического поля (ЭСП) и поля коронного разряда для обработки травы и зерна, очистки, ионизации и озонирования воздуха, выпечки хлеба, разделения суспензий и сыпучих смесей, опреснения воды, очистки семян и газов;
- электромагнитных полей крайне низкого (3 - 30 Гц) и сверхнизкого (30 - 300 Гц) частотных диапазонов для обработки корнеплодов [3];
- электрического поля 50 Гц для предпосевной обработки семенных материалов, дезинфекции и дезинсекции, сортировки и очистки семян, обработки травы и отходов полеводства [4];
- постоянного и переменного магнитного полей (промышленной частоты) для обеззараживания воды и зерна, сепарации семян и кормов от металлических изделий, очистки автотракторных масел;
- ЭМП очень низкого диапазона частот (3 - 30 кГц) для обработки зерновых материалов, генерации ультразвуковых колебаний, индукционного нагрева, проведения сварочных работ, предпосевной обработки семян;
- электромагнитного поля в широком диапазоне 3 МГц - 30 ГГц для измельчения и сушки зерна, сортировки, очистки и обеззараживания семян и материалов, обработки травы, воскового материала и отходов полеводства, диэлектрического и индукционного нагрева, пастеризации молока [1-4];
- терагерцового излучения для выявления крупных металлических включений в продуктах питания, контроля надежности соединительных швов многослойных упаковочных материалов и качества сельскохозяйственной продукции, определения уровня влажности почвы [2].

Кроме этого среди опасных источников ЭМП в агропромышленном комплексе следует выделить:

- информационно-технологическое оборудование, включая компьютерную технику, в том числе бортовые компьютеры сельскохозяйственной техники;
- высоковольтное и сильноточное оборудование, электрические распределительные щиты, силовую и осветительную электропроводку;
- стационарные и переносные бытовые электроприборы;
- оборудование для радиосвязи, включая сотовую связь (базовые станции и мобильные телефоны), устройства передачи данных Wi-Fi, системы ГЛОНАСС- и GPS-навигации [1-4].

Влияние используемых источников ЭМП на биологические объекты и информационно-технологическое оборудование непрерывно возрастает [1, 2]. Однако принципы оценки электромагнитной обстановки (ЭМО) не в полной мере учитывают особенности ее формирования при одновременном воздействии различных составляющих электромагнитного поля во всем нормируемом диапазоне (до оптического) с учетом факторов, искажающих представление о картине опасности. К таким факторам можно отнести неопределенность зон контроля

параметров электромагнитных полей на поверхности ЭМП-излучающих источников, возможность повышения интенсивности излучения внутри нормативно установленных границ частотных диапазонов, а также влияние ЭМП, создаваемых вторичными и внешними источниками в расширенном до 3 ТГц диапазоне частот.

При этом национальная и международная системы санитарно-гигиенического нормирования в области контроля электромагнитной обстановки не регламентируют допустимое время пребывания в условиях одновременного воздействия электрических, магнитных и электромагнитных полей от различных групп излучающих источников в диапазоне частот, расширенном до 3 ТГц; не учитывают возможность непосредственного контакта отдельных источников ЭМП (например, сотовых телефонов) с телом человека [5-20].

Поэтому рассматриваемая тема соответствует мировой тенденции в области защиты от неионизирующих полей и излучений и характеризует одно из ключевых направлений развития АПК России.

1 Проблема электромагнитной безопасности технологических процессов в АПК

1.1 Действие электромагнитных излучений на организм человека

Масштабное использование электромагнитной энергии в современном мире привело к формированию нового фактора загрязнения окружающей среды – электромагнитного. В настоящее время механизм взаимодействия электромагнитных излучений (ЭМИ) с человеческим организмом до конца не исследован, но биологами отмечаются негативные последствия при облучении биологических объектов электромагнитными полями (ЭМП) [3].

На биологическую реакцию влияют следующие параметры электромагнитного поля [2]:

- интенсивность ЭМП (величина);
- частота излучения;
- длительность облучения;
- модуляция волнового излучения;
- сочетание частот ЭМП;
- периодичность действия;
- внешние условия;
- функциональное состояние организма;
- устойчивость организма к воздействию ЭМИ, возможность адаптации.

При взаимодействии электромагнитных излучений с биологическими объектами не вся энергия поглощается. Отраженная энергия не оказывает никакого действия. А другая часть вызывает изменения в веществе. Глубина проникновения ЭМП радиочастотного диапазона в различные ткани указана в таблице 1.1 [1-3].

Таблица 1.1 – Глубина проникновения ЭМП в различные ткани

Ткань организма	Частота, МГц					
	100	200	400	1000	3000	10000
	Глубина проникновения ЭМП, см					
Костный мозг	22,9	20,66	18,37	11,90	9,92	0,34
Головной мозг	3,55	4,13	2,07	1,93	0,47	0,16
Хрусталик глаза	9,42	4,39	4,23	2,91	0,50	0,17
Кровь	2,86	2,15	1,79	1,40	0,78	0,14
Мышцы	3,45	2,32	1,84	1,46	-	0,31
Кожа	3,76	2,78	2,18	1,64	0,64	0,18

Анализ [1-4] показывает, что среди всего спектра электромагнитных излучений наибольшей биологической значимостью и выраженностью симптоматики выделяются ЭМИ радиочастотного (от 10 кГц до 50 МГц включительно) и сверхвысокочастотного (от 3 до 30 ГГц) диапазонов (далее – РЧ и СВЧ) [2].

По данным, у людей, связанных с работой источников ЭМИ РЧ и особенно высокочастотных (ВЧ) (от 3 до 30 МГц) и СВЧ-диапазонов, выявляется различная неврологическая симптоматика. Представленные данные клинико-эпидемиологических исследований о воздействии ЭМИ РЧ на организм человека свидетельствуют, что выраженность наблюдаемых изменений зависит от интенсивности и длительности воздействия [3].

Специалисты отмечают ускорение роста раковых клеток у людей, много работающих с персональными компьютерами, патологических реакций, обусловленных воздействием электромагнитных излучений крайне низкой частоты (КНЧ). К ним относятся электромаг-

нитные излучения с частотами 30 - 300 Гц. КНЧ-поля не способны изменять или разрушать связи в клетках на молекулярном уровне, однако они инициируют электрические изменения, происходящие в живой клетке организма [4].

Энергетическая (физическая) причина нарушения здоровья людей в зонах с повышенной интенсивностью ЭМИ – устойчивое изменение характеристик энергетических полей организма под воздействием крупных сгустков энергетических образований различных излучений. Под воздействием таких энергетических сгустков органы человека (как и других живых организмов) изменяют свои природные параметры функционирования. После выхода из опасной зоны защитные механизмы здорового организма в состоянии частично или полностью устранить возникшие изменения биополя или молекулярной структуры организма [1,2].

Каких-либо ощущений в момент воздействия постоянных магнитных полей (МП) у людей не возникает.

При продолжительном пребывании людей в зонах с повышенной интенсивностью различных излучений возникают симптомы заболеваний. К наиболее распространенным можно отнести:

1) общие симптомы:

- а) нарушение концентрации внимания;
- б) головные боли;
- в) слабость;
- г) потеря работоспособности;
- д) непреходящая усталость;
- е) приступы головокружения;
- ж) плохой, поверхностный сон;
- з) снижение потенции;
- и) нестабильность температуры тела;
- к) аллергические реакции;
- л) нарушение логики мышления и речи;
- м) нарушение функционирования ослабленных органов, переходящее в постоянное болезненное состояние.

2) симптомы со стороны нервной системы:

- а) функциональные нарушения центральной и вегетативной нервной систем;
- б) изменения электроэнцефалограммы;
- в) неврастенические проявления;
- г) склонность к потению;
- д) легкое дрожание пальцев.

3) симптомы со стороны сердечнососудистой системы:

- а) кардиоваскулярные нарушения;
- б) вегетонические нарушения сердечнососудистой системы;
- в) нестабильность пульса;
- г) нестабильность артериального давления.

4) в критических случаях наблюдаются:

- а) помутнение хрусталика глаза;
- б) нарушение работы механизмов адаптации организма к изменениям условий внешней среды;
- в) нарушение обмена веществ;
- г) онкологические заболевания;
- д) болезни Паркинсона и Альцгеймера;
- е) синдром внезапной смерти внешне здорового ребенка;
- ж) при увеличении энергии электромагнитных излучений – нагревание тканей, ожоги.

Учитывая недостаточную изученность воздействия электромагнитных излучений на биологические объекты, следует отметить необходимость проведения электромагнитного мониторинга окружающей среды с целью контроля над теми процессами в жизни общества, которые могут получить развитие в период активного ввода в действие новых систем и устройств, генерирующих электромагнитное излучение.

При гигиенической оценке электромагнитного поля в АПК определяются фактические уровни измеренных ЭМП, их соответствие гигиеническим нормативам, гарантирующим безопасность человека и обеспечивающим благоприятные условия его жизнедеятельности. В таблице 1.2 [1, 3] представлены контролируемые параметры электростатического (ЭСП), электрического (ЭП), магнитного (МП) и электромагнитного полей.

Таблица 1.2 – Параметры ЭМП, измеряемые при санитарно-гигиеническом контроле

Частота	Контролируемый параметр	Обозначение	Единица измерения
0 Гц	Напряженность ЭСП	Е	В/м
	Потенциал ЭСП	φ	В
0 Гц	Напряженность МП	Н	А/м
	Индукция МП	В	Тл
0,1 - 300 Гц	Напряженность ЭП	Е	В/м
	Напряженность МП	Н	А/м
	Индукция МП	В	Тл
300 Гц - 300 МГц	Напряженность ЭП	Е	В/м
	Напряженность МП	Н	А/м
	Индукция МП	В	Тл
30 кГц – 300 МГц	Энергетическая экспозиция по ЭП	ЭЭ _Е	$(В/м)^2 \cdot ч$
	Энергетическая экспозиция по МП	ЭЭ _Н	$(А/м)^2 \cdot ч$
300 МГц – 300 ГГц	Плотность потока энергии	ППЭ	мкВт/см ²
	Энергетическая экспозиция плотности потока энергии	ЭЭ _{ППЕ}	$(мкВт/см^2) \cdot ч$

Обеспечение соответствия отмеченных параметров нормам безопасности является актуальной гигиенической проблемой в агропромышленном комплексе.

1.2 Нормативные требования к электромагнитной обстановке

Для обеспечения электромагнитной безопасности технические средства должны функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не оказывать неблагоприятного влияния на биологические объекты. Поэтому, на основании приказа Минтруда РФ № 334, федеральных законов № 384 (ст. 27), № 52 (ст. 23 и 27) и № 7 (ст. 55), органы государственной власти Российской Федерации, органы государственной власти субъектов РФ, органы местного самоуправления, юридические и физические лица при осуществлении хозяйственной и иной деятельности обязаны принимать необходимые меры по предупреждению и устранению негативного воздействия электрических, магнитных и элек-

тромагнитных полей на окружающую среду, в том числе проводить периодический контроль уровней электромагнитных излучений.

В настоящее время в плане нормирования и методов контроля как российские, так и межгосударственные (в рамках СНГ) стандарты, охватывают большинство параметров электромагнитных полей от технических средств.

В России система нормативных документов в области электромагнитной безопасности включает Государственные стандарты (ГОСТ) и Санитарные правила и нормы (СанПиН).

Перечень таких Стандартов по состоянию на 01 июня 2020г. приведен в таблице 1.3.

Санитарные правила и нормы регламентируют гигиенические требования наиболее подробно и в более конкретных ситуациях облучения, а также к отдельным видам продукции. Как правило, СанПиН сопровождаются Методическими указаниями по выполнению контроля электромагнитной обстановки и проведению защитных мероприятий.

Таблица 1.3 – Государственные стандарты России в области электромагнитной безопасности

Обозначение	Наименование
ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ	Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля
ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ	Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля
ГОСТ Р МЭК 60065-2002	Аудио-, видео- и аналоговая электронная аппаратура. Требования безопасности
ГОСТ Р 52084-2003	Приборы электрические бытовые. Общие технические условия
ГОСТ 12.2.007.0-75 ССБТ	Изделия электротехнические. Общие требования безопасности

В зависимости от отношения, подвергающегося воздействию ЭМП человека к источнику излучения выделяются условия воздействия ЭМИ для двух укрупненных групп:

- персонала, профессионально связанного с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМП;

- персонала, профессионально не связанного с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМП, в том числе, лиц, работа или обучение которых не связаны с необходимостью пребывания в зонах влияния источников ЭМИ; лиц, не проходящих предварительных при поступлении на работу и периодических медицинских осмотров по данному фактору или при наличии отрицательного заключения по результатам медицинского осмотра; работающих или учащихся лиц, не достигших 18 лет; женщин в состоянии беременности; лиц, находящихся в жилых, общественных и служебных зданиях и помещениях, а также лиц, находящихся на территории жилой застройки и в местах массового отдыха.

Далее условия воздействия ЭМП для первой группы будут называться производственными, а для второй группы – воздействием на население. Перечень Санитарных правил и норм России для различных категорий облучаемых приведен в таблицах 1.4-1.5.

В первом случае условия воздействия отличаются многообразием режимов генерации и ситуаций. В частности, для облучения в ближней зоне характерно сочетание общего и

местного облучения. Во втором случае типичным является общее облучение. При этом ПДУ для рассмотренных условий воздействия ЭМИ на человека различны.

В основу установления ПДУ положен пороговый принцип вредного воздействия ЭМП, основанный на следующих научно установленных механизмах влияния излучений на биологический объект: при частотах ниже 10 кГц изменяется разность потенциалов на клеточных мембранах, а при более высоких частотах - нагреваются ткани. Следовательно, в качестве базовых величин при частотах от 4 до 1000 Гц принимается безопасный уровень плотности тока в тканях биологических объектов, не превышающий 10 мА/м^2 , а в частотных диапазонах выше 10 кГц - удельная энергия в 4 Вт/кг .

Поэтому в качестве предельно допустимых уровней электромагнитных полей принимаются такие значения, которые при ежедневном облучении в свойственном для данного источника излучения режимах не вызывает у людей без ограничения пола и возраста заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными способами исследования в период облучения или в отдаленные сроки после его прекращения [5-20].

В отношении санитарно-гигиенического нормирования электромагнитных полей на территории производственных объектов и в близлежащих районах наибольшее распространение в сфере нормирования ЭМП получили санитарные правила и нормы [5-9].

При определении конкретного значения уровня ПДУ разработчики руководствуются либо результатами специально выполненных работ, либо результатами общих медико-биологических исследований [16-19].

В случае отсутствия на конкретный вид электротехнического изделия отдельного норматива, санитарно-гигиенические требования к этому изделию предъявляются на основе ПДУ, установленного в общих стандартах [10-15].

Отнесение условий труда к тому или иному классу вредности и опасности при воздействии неионизирующих электромагнитных полей и излучений осуществляется в соответствии с (таблица 1.6) [5].

Условия труда при действии неионизирующих электромагнитных полей и излучений относятся к 3 классу вредности при превышении на рабочих местах предельно допустимых уровней или временно допустимых уровней (ВДУ), установленных для соответствующего времени воздействия, с учетом значений энергетических экспозиций в тех диапазонах частот, где они нормируются и, к 4 классу – при превышении максимальных ПДУ для кратковременного воздействия.

Таблица 1.4 – Санитарные правила и нормы для персонала, профессионально связанного с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ

Обозначение	Наименование	Примечание
СанПиН 2.2.4.3359-16	Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах	Утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ № 81 от 21.06.2016
СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03	Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи	Утв. постановлением Главного государственного санитарного врача № 18 РФ от 13.03.2003
СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03	Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов	Утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ № 135 от 09.06.2003 и № 91 от 19.12.2007
СанПиН 2.2.4.1329-03	Требования по защите персонала от воздействия импульсных электромагнитных полей	Утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ № 102 от 28.05.2003
МУК 4.3.2491-09	Методические указания. Гигиеническая оценка электрических и магнитных полей промышленной частоты (50 Гц) в производственных условиях	Утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 28.02.09
МУК 4.3.1167-02	Методические указания. Определение плотности потока энергии электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц	Утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 07.10.02

Таблица 1.5 – Санитарные правила и нормы для людей, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ

Обозначение	Наименование	Примечание
МСанПиН 001-96	Санитарные нормы допустимых уровней физических факторов при применении товаров народного потребления в бытовых условиях	Утв. постановлением Госкомсан эпиднадзора России № 2 от 19.01.1996
СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03	Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи	Утв. постановлением Главного государственного санитарного врача № 18 РФ от 13.03.2003
СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03	Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов	Утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ № 135 от 09.06.2003 и № 91 от 19.12.2007
СанПиН 2.1.2.2645-10	Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях	Утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ № 64 от 10.06.2010 и № 175 от 27.12.2010
СанПиН 2.2.4.3359-16	Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах	Утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ № 81 от 21.06.2016
ГН 2.1.8/2.2.4.2262-07	Предельно допустимые уровни магнитных полей частотой 50 Гц в помещениях жилых, общественных зданий и на селитебных территориях	Утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ № 60 от 21.08.2007
Решение Комиссии Таможенного союза № 299	О применении санитарных мер в Евразийском экономическом союзе	Утв. решением Коллегии Евразийского экономического союза № 299 от 28.05.2010 (с изменениями на 10.05.2018)

Таблица 1.6 – Классы условий труда при действии неионизирующих электромагнитных полей и излучений

Фактор	Класс условий труда						
	Опти-мальный	Допу-стимый	Вредный				Опасный (экстрем.)
			1 степени	2 степени	3 степени	4 степени	
Превышение ПДУ (раз)							
Электростатическое поле ²⁾	естеств. фон	≤ ПДУ ¹⁾	≤ 5	> 5	-	-	-
Постоянное магнитное поле ³⁾	естеств. фон	≤ ПДУ ¹⁾	≤ 5	> 5	-	-	-
Электрические поля промышленной частоты (50 Гц) ⁴⁾	естеств. фон	≤ ПДУ ¹⁾	≤ 5	≤ 10	> 10	-	> 40 [#]
Магнитные поля промышленной частоты (50 Гц) ⁵⁾	естеств. фон	≤ ПДУ ¹⁾	≤ 5	≤ 10	> 10	-	-
ЭМП на рабочем месте пользователя ПЭВМ ⁶⁾	-	≤ ПДУ	> ПДУ	-	-	-	-
ЭМИ радиочастотного диапазона ⁷⁾							
0,01 - 0,03 МГц	естеств. фон	≤ ПДУ ¹⁾	≤ 5	≤10	> 10	-	-
0,03 - 3,0 МГц	естеств. фон	≤ ПДУ ⁸⁾	≤ 5	≤ 10	> 10	-	-
3,0 - 30,0 МГц	естеств. фон	≤ ПДУ ⁸⁾	≤ 3	≤ 5	≤ 10	> 10	-
30,0 - 300,0 МГц	естеств. фон	≤ ПДУ ⁸⁾	≤ 3	≤ 5	≤ 10	> 10	> 100 [#]
300,0 МГц - 300,0 ГГц	естеств. фон	≤ ПДУ ⁸⁾	≤ 3	≤ 5	≤ 10	> 10	> 100 [#]
Широкополосный электромагнитный импульс ⁹⁾	-	≤ ПДУ	≤ 5	> 5	-	-	> 50 ^{##}

Продолжение таблицы 1.6

Примечания [5-19]:

- 1) Значения ПДУ, с которыми проводится сравнение измеренных на рабочих местах величин ЭМП, определяются в зависимости от времени воздействия фактора в течение рабочего дня.
- 2) В соответствии с СанПиНом 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» и ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ «Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».
- 3) В соответствии с СанПиНом 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».
- 4) В соответствии с СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» и ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ «Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля».
- 5) В соответствии с СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах», СП 5060-89 «Ориентировочные безопасные уровни воздействия переменных магнитных полей частотой 50 Гц при производстве работ под напряжением на воздушных линиях (ВЛ) электропередачи напряжением 220-1150 кВ».
- 6) В соответствии с СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».
- 7) В соответствии с СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах», ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ «Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля», СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов», СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи».
- 8) ПДУ энергетической экспозиции ЭМИ.
- 9) В соответствии с СанПиН 2.2.4.1329-03 «Требования по защите персонала от воздействия импульсных электромагнитных полей».
- # Превышение максимального ПДУ для кратковременного воздействия.
- ## Превышение ПДУ напряженности электрического поля для количества электромагнитных импульсов не более 5 в течение рабочего дня.

При одновременном воздействии на живые организмы неионизирующих электромагнитных полей и излучений, создаваемых несколькими источниками, работающими в разных нормируемых частотных диапазонах, класс условий труда на рабочем месте устанавливается по фактору, получившему наиболее высокую степень вредности. При этом в случае выявления превышения ПДУ в двух и более нормируемых частотных диапазонах, степень вредности увеличивается на одну ступень [5-20].

Оценка и нормирование электростатического поля осуществляется по уровню электрического поля дифференцированно в зависимости от времени его воздействия на персонал в течение рабочего дня. Уровень электростатического поля оценивают в единицах напряженности электрического поля (кВ/м).

При напряженностях электростатического поля, превышающих 60 кВ/м, работа более 1 часа за смену без применения средств защиты не допускается, а при напряженностях электростатического поля менее 20 кВ/м время пребывания на рабочем месте не регламентируется [5].

Известно, что наиболее опасным для здоровья живых существ считается магнитное поле.

Оценка и нормирование которого осуществляется дифференцированно в зависимости от времени его воздействия на людей в течение рабочего дня для условий общего (на все тело) и локального (кисти рук, предплечье) воздействий.

Предельно допустимые уровни напряженности (индукции) постоянного магнитного поля на рабочих местах представлены в таблице 1.7 [5].

Таблица 1.7 – ПДУ постоянного магнитного поля на рабочих местах

Время воздействия за рабочий день, мин	Условия воздействия			
	общее		локальное	
	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл
≤ 10	24	30	40	50
11 - 60	16	20	24	30
61 - 480	8	10	12	15

Однако необходимо также отметить высокую степень опасности источников электрического и магнитного полей промышленной частоты.

Оценка ЭМП промышленной частоты осуществляется отдельно по напряженности электрического поля (кВ/м), напряженности магнитного поля (А/м) или индукции магнитного поля (мкТл). Нормирование электромагнитных полей 50 Гц на рабочих местах дифференцируется в зависимости от времени пребывания в электромагнитном поле.

Так как время пребывания в зоне электромагнитного излучения для различного уровня ограничено предельно допустимой дозой облучения, то нормируется допустимое время пребывания при определенном уровне напряженности электрического поля промышленной частоты (таблица 1.8).

Для людей, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ, отдельно нормируется предельно допустимая напряженность электрического поля промышленной частоты от линий электропередачи, в том числе, кабельных линий напряжением 380 В и электрической проводки 220 В, для различных условий облучения (таблица 1.9).

Нормативные документы, регламентирующие уровни магнитного поля промышленной частоты для людей, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ, устанавливают следующие гигиенические нормативы (таблица 1.10) [5-9].

Для условий воздействия импульсных магнитных полей промышленной частоты предельно допустимые уровни амплитудного значения напряженности магнитного поля дифференцированы в зависимости от импульсных режимов генерации и времени контакта (таблица 1.11).

В 2016 году в России введены требования к условиям воздействия электромагнитных излучений, которые устанавливают предельно допустимые уровни напряженности синусоидальных (периодических) магнитных полей для условий общего (на все тело) и локального (на кисти рук и предплечье) воздействия (таблица 1.12) [5].

Таблица 1.8 – Допустимое время пребывания при различных уровнях излучения электрического поля промышленной частоты

Напряженность электрического поля, кВ/м	Допустимое время пребывания в течение суток, мин	Примечание
До 5 включительно	480	—
6	378	Нормативы действительны при условии, что исключена возможность воздействия на человека электрических разрядов и токов стекания. В остальное время необходимо либо использовать средства защиты, либо находиться в местах, где электрическое поле отсутствует или напряженность поля не превышает 5 кВ/м.
7	308	
8	255	
9	213	
10	180	
11	152	
12	130	
13	110	
14	94	
15	80	
16	68	
17	56	
18	46	
19	38	
20	30	
Свыше 20 до 25	10	—
Свыше 25	Не допускается	—

Таблица 1.9 – ПДУ электрических полей 50 Гц для людей, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ

ПДУ электрического поля 50 Гц, кВ/м	Условия облучения
0,5	в жилых помещениях
1	на территории населенных мест

Таблица 1.10 – ПДУ магнитных полей 50 Гц для людей, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ

Тип воздействия, территория	Интенсивность МП частотой 50 Гц (действующие значения)	
	В, мкТл	Н, А/м
В жилых помещениях, детских, дошкольных, школьных, общеобразовательных и медицинских учреждениях	5	4
В нежилых помещениях жилых зданий, общественных и административных зданиях, на селитебной территории, в том числе на территории садовых участков	10	8
В населенной местности вне зоны жилой застройки, в том числе в зоне воздушных и кабельных линий электропередачи напряжением выше 1 кВ	20	16
В ненаселенной и труднодоступной местности с эпизодическим пребыванием людей	100	80

Таблица 1.11 – ПДУ воздействия импульсных магнитных полей 50 Гц

Время воздействия, ч	Напряженность магнитного поля, А/м		
	характеристики импульсного режима генерации		
	$\tau_{II} \geq 0,02 \text{ с};$ $t_{II} \leq 2 \text{ с}$	$60 \text{ с} \geq \tau_{II} \geq 1 \text{ с};$ $t_{II} > 2 \text{ с}$	$0,02 \text{ с} \geq \tau_{II} \geq 1 \text{ с};$ $t_{II} > 2 \text{ с}$
$\leq 1,0$	6 000	8 000	10 000
$\leq 1,5$	5 000	7 500	9 500
$\leq 2,0$	4 900	6 900	8 900
$\leq 2,5$	4 500	6 500	8 500
$\leq 3,0$	4 000	6 000	8 000
$\leq 3,5$	3 600	5 600	7 600
$\leq 4,0$	3 200	5 200	7 200
$\leq 4,5$	2 900	4 900	6 900
$\leq 5,0$	2 500	4 500	6 500
$\leq 5,5$	2 300	4 300	6 300
$\leq 6,0$	2 000	4 000	6 000
$\leq 6,5$	1 800	3 800	5 800
$\leq 7,0$	1 600	3 600	5 600
$\leq 7,5$	1 500	3 500	5 500
$\leq 8,0$	1 400	3 400	5 400
Примечания:			
1. τ_{II} – длительность импульса, с.			
2. t_{II} – длительность паузы между импульсами, с.			

Таблица 1.12 – ПДУ синусоидального (периодического) воздействия магнитного поля 50 Гц

Время пребывания, ч	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

В диапазонах частот от 10 кГц до 30 кГц интенсивность излучений для производственного персонала оценивается по значениям напряженности электрического поля (В/м) и напряженности магнитного поля (А/м) дифференцированно в зависимости от времени воздействия. При этом ПДУ напряженности электрического и магнитного полей при воздействии в течение всего рабочего дня составляет 500 В/м и 50 А/м соответственно.

В условиях кратковременного пребывания ($\leq 0,2$ ч в течение рабочего дня) в зонах ЭМП с частотой от 30 кГц до 300 ГГц ПДУ напряженности электрического и магнитного полей, плотности потока энергии не должны превышать представленных в таблице 1.13 значений [5-20].

Таблица 1.13 - Максимальные ПДУ напряженности и плотности потока энергии ЭМП в диапазоне частот от 30 кГц до 300 ГГц

Нормируемые параметры	Максимально допустимые уровни в диапазонах частот (МГц)				
	$\geq 0,03 - 3$	$\geq 3 - 30$	$\geq 30 - 50$	$\geq 50 - 300$	$\geq 300 - 300\,000$
Е, В/м	500	300	80	80	—
Н, А/м	50	не разработано	3,0	не разработано	—
ППЭ, мкВт/см ²	—	—	—	—	1 000 5 000 *
Примечание: * - для условий локального облучения кистей рук.					

Поскольку воздействие электромагнитного излучения на сотрудника производственной сферы зависит от времени, по каждому из вышеназванных параметров введены предельно допустимые значения энергетической экспозиции, величина которых используется для оценки и нормирования ЭМП в течение всего рабочего дня.

Предельно допустимые уровни электромагнитного излучения радиочастотного диапазона приведены в таблицах 1.14, 1.15 [5-20].

Таблица 1.14 – Предельно допустимые значения энергетической экспозиции диапазона частот от 30 кГц до 300 ГГц

Диапазоны частот	Предельно допустимая энергетическая экспозиция		
	По электрической составляющей, (В/м) ² ·ч	по магнитной составляющей, (А/м) ² ·ч	по плотности потока энергии, (мкВт/см ²) ·ч
≥ 30 кГц - 3 МГц	20 000	200	—
$\geq 3 - 30$ МГц	7 000	не разработано	—
$\geq 30 - 50$ МГц	800	0,72	—
$\geq 50 - 300$ МГц	800	не разработано	—
≥ 300 МГц - 300 ГГц	—	—	200

Таблица 1.15 – ПДУ ЭМИ диапазона частот 30 кГц - 300 ГГц для людей, профессионально не связанных с работой источников ЭМИ

Нормируемые параметры	Диапазон частот, МГц				
	0,3 - 300 кГц	0,3 - 3 МГц	3 - 30 МГц	30 - 300 МГц	0,3 – 30 ГГц
	Предельно допустимые уровни				
Напряженность электрического поля, В/м	25	15	10	3	–
Плотность потока энергии, мкВт/см ²	–	–	–	–	10

Предельно допустимые уровни воздействия электромагнитных излучений, создаваемых радиотехническими объектами, для сотрудников производственной сферы и населения приведены в таблицах 1.16, 1.19 [5-20].

Таблица 1.16 – ПДУ воздействия электромагнитных полей базовых станций на рабочих местах персонала

Нормируемые параметры	Диапазоны частот, МГц			
	[0,03 – 3)	[3 – 30)	[30 – 300)	[300 – 2 400)
Максимальный ПДУ E, В/м	500	296 ⁽¹⁾	80 ⁽¹⁾	–
Максимальный ПДУ H, А/м	50	не разработано	3	–
Максимальный ПДУ ППЭ, мкВт/см ²	–	–	–	1 000 мкВт/см ² ⁽²⁾
ПДУ для продолжительности работы (Т) более 8 ч за смену	не разработано	30 В/м	10 В/м	25 мкВт/см ²
Примечания:				
(1) - в диапазоне частот от 27 МГц до 300 МГц - для $T \leq 0,08$ ч;				
(2) - в диапазоне частот от 300 МГц до 2400 МГц - для $T \leq 0,2$ ч.				

Предельно допустимые уровни ЭМП, создаваемые на рабочих местах пользователей персональными компьютерами (ПК) и другими средствами информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), представлены в таблице 1.18.

Некоторые данные ПДУ электромагнитных излучений от различных источников для сотрудников производственной сферы и людей, профессионально не связанных с обслуживанием электроустановок, с условиями контроля их уровней приведены в таблице 1.19.

Таблица 1.17 – ПДУ электромагнитных полей от радиотехнических объектов, воздействующих на население

Нормируемые параметры	Диапазон частот, МГц		
	[27 – 30)	[30 – 300)	[300 – 2 400)
	Предельно допустимые уровни		
Напряженность электрического поля, В/м	10	3	–
Плотность потока энергии, мкВт/см ²	–	–	10 25* 100**
Примечание: * - для случаев облучения от антенн, работающих в режиме кругового обзора или сканирования; ** - для случаев облучения от радиотелефонов.			

Таблица 1.18 – Предельно допустимые уровни ЭМП, создаваемые ПК и другими средствами ИКТ

Нормируемые параметры	Диапазон частот	ПДУ
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м
Напряженность электрического поля	5 Гц - < 2 кГц	25 В/м
	2 кГц - < 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	5 Гц - < 2 кГц	250 нТл
	2 кГц - < 400 кГц	25 нТл
Плотность потока энергии	300 МГц - 300 ГГц	10 мкВт/см ²

В соответствии с ГОСТ 24375–80, книга ЭМС и рекомендациями Международного союза электросвязи ТГц-диапазон определяется как диапазон частот от 300 ГГц до 3 ТГц (диапазон длин волн от 1 до 0,1 мм). Однако, в России санитарно-гигиенические нормативы не устанавливают ПДУ отдельно для гипервысокого диапазона частот ЭМП. Поэтому, учитывая, что нормируемый частотный диапазон инфракрасного излучения (300 ГГц - 429 ТГц) включает гипервысокие частоты ЭМИ, нормирование этого диапазона предлагается осуществлять по длинноволновой области инфракрасного излучения.

Для людей, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ, согласно [5-20] допустимый уровень интенсивности излучения в диапазоне частот 300 ГГц - 3 ТГц от экранов телевизоров, видеомониторов, осциллографов измерительных и других приборов, средств отображения информации с визуальным контролем не должен превышать 4 Вт/м², а от остальных бытовых приборов - 100 Вт/м².

Таблица 1.19 – Предельно допустимые уровни от различных источников электромагнитных излучений

Источник ЭМИ	Диапазон частот	Значение ПДУ	Условия контроля
Индукционные печи	20 - 22 кГц	$E_{\text{пду}} = 500 \text{ В/м}$	расстояние 0,3 м от корпуса
Производственные установки	50 Гц	$E_{\text{пду}} = 5000 \text{ В/м}$	расстояние 0,5 м от установки
	30 кГц - 3 МГц	$\Sigma E_{\text{пду}} = 20\,000 \text{ (В/м)}^2 \cdot \text{ч}$	в точках наибольшего приближения к источнику ЭМИ
	3 - 30 МГц	$\Sigma E_{\text{пду}} = 7\,000 \text{ (В/м)}^2 \cdot \text{ч}$	
	30 - 50 МГц	$\Sigma E_{\text{пду}} = 800 \text{ (В/м)}^2 \cdot \text{ч}$	
	50 - 300 МГц	$\Sigma E_{\text{пду}} = 800 \text{ (В/м)}^2 \cdot \text{ч}$	
	300 МГц - 300 ГГц	$\Sigma \text{ППЭ}_{\text{пду}} = 200 \text{ (мкВт/см}^2\text{)} \cdot \text{ч}$	
Ноутбук с подключенным USB-модемом	0 Гц	$E_{\text{пду}} = 15\,000 \text{ В/м}$	расстояние 0,1 м от устройства
	5 Гц - 2 кГц	$E_{\text{пду}} = 25 \text{ В/м}$	
	2 - 400 кГц	$E_{\text{пду}} = 2,5 \text{ В/м}$	
	300 МГц - 300 ГГц	$\text{ППЭ}_{\text{пду}} = 10 \text{ мкВт/см}^2$	
Персональный компьютер и средства информационно-коммуникационных технологий	0 Гц	$E_{\text{пду}} = 15000 \text{ В/м}$	в точках наибольшего приближения к источнику ЭМИ
	5 Гц - 2 кГц	$E_{\text{пду}} = 25 \text{ В/м}$	
	2 - 400 кГц	$E_{\text{пду}} = 2,5 \text{ В/м}$	
	300 МГц - 300 ГГц	$\text{ППЭ}_{\text{пду}} = 10 \text{ мкВт/см}^2$	
Абонентские терминалы спутниковой связи	27 - 30 МГц	$E_{\text{пду}} = 45 \text{ В/м}$	на расстоянии 0,38 м от аппарата
	30 - 300 МГц	$E_{\text{пду}} = 15 \text{ В/м}$	
	300 МГц - 2,4 ГГц	$\text{ППЭ}_{\text{пду}} = 100 \text{ мкВт/см}^2$	
Бытовые электроприборы	0 Гц	$E_{\text{пду}} = 15\,000 \text{ В/м}$	расстояние 0,1 м от корпуса изделия
	50 Гц	$E_{\text{пду}} = 500 \text{ В/м}$	
	0,3 - 300 кГц	$E_{\text{пду}} = 25 \text{ В/м}$	
	0,3 - 3 МГц	$E_{\text{пду}} = 15 \text{ В/м}$	
	3 - 30 МГц	$E_{\text{пду}} = 10 \text{ В/м}$	
	30 - 300 МГц	$E_{\text{пду}} = 3 \text{ В/м}$	
	300 МГц - 300 ГГц	$\text{ППЭ}_{\text{пду}} = 10 \text{ мкВт/см}^2$	
Антенны базовых станций	27 - 30 МГц	$E_{\text{пду}} = 10 \text{ В/м}$	
	30 - 300 МГц	$E_{\text{пду}} = 3 \text{ В/м}$	
	300 МГц - 2,4 ГГц	$\text{ППЭ}_{\text{пду}} = 10 \text{ мкВт/см}^2$	

Таблица 1.20 – ПДУ интенсивности облучения поверхности тела работающих от производственных источников

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ² , не более
50 и более	35
25 - 50	70
не более 25	100

1.3 Классификация технологических процессов с использованием электромагнитных полей

Классификация основных технологических процессов с использованием ЭМП приведена на рисунках 1.1-1.6 (отмечены процессы с возможным превышением предельно-допустимых уровней ЭМИ) [2, 20].



Рисунок 1.1 – Электротехнологические процессы при использовании электростатического поля и поля коронного разряда



Рисунок 1.2 – Электротехнологические процессы при использовании электрического поля 50 Гц



Рисунок 1.3 – Электротехнологические процессы при использовании магнитного поля

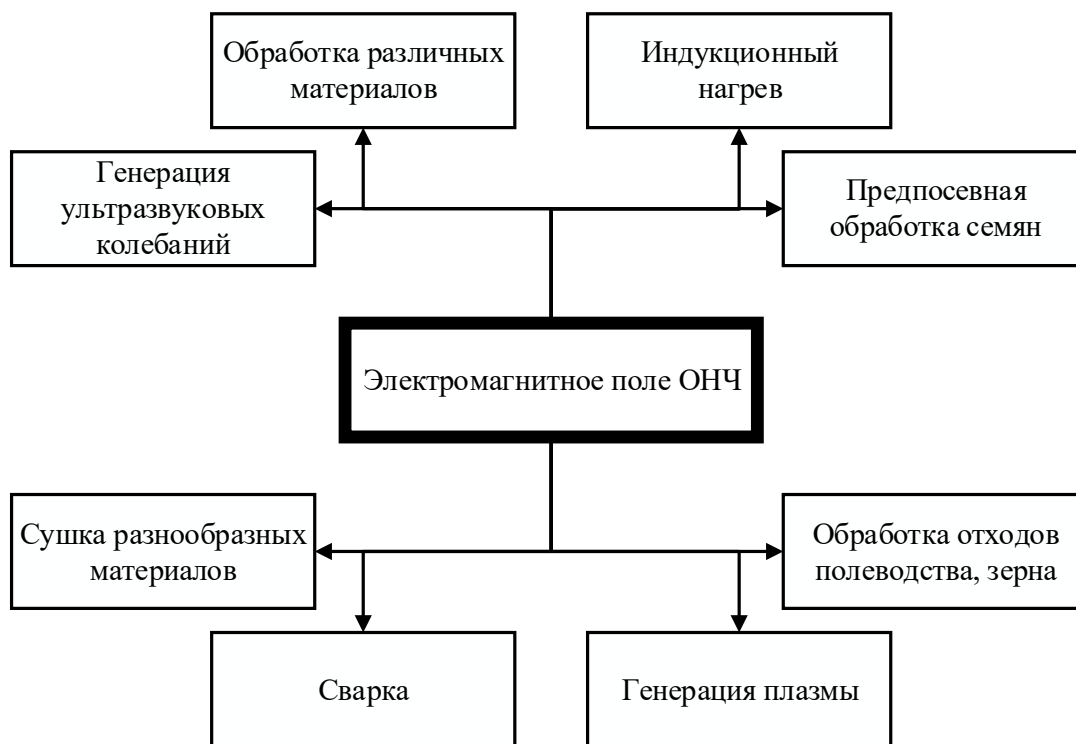


Рисунок 1.4 – Электротехнологические процессы при использовании электромагнитного поля ВЧ и СВЧ



Рисунок 1.5 – Электротехнологические процессы при использовании электромагнитного поля ВЧ, УВЧ и СВЧ

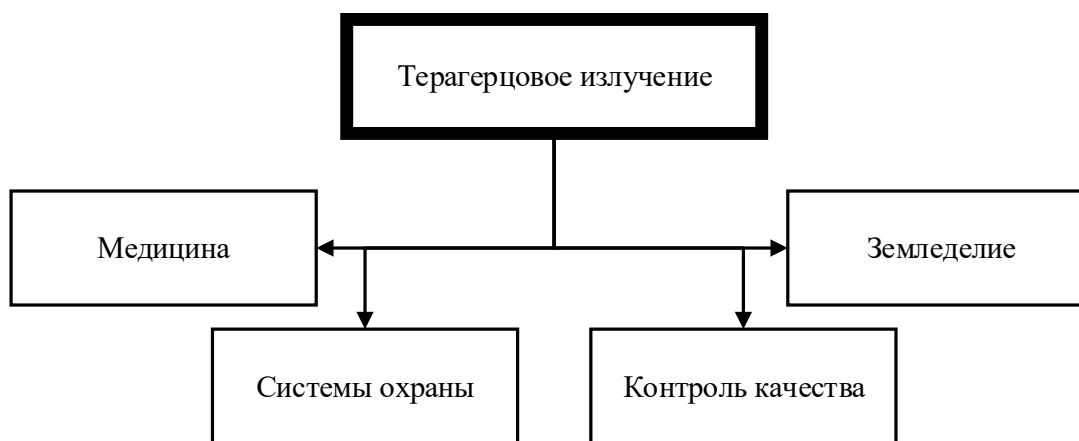


Рисунок 1.6 – Области применения терагерцового излучения

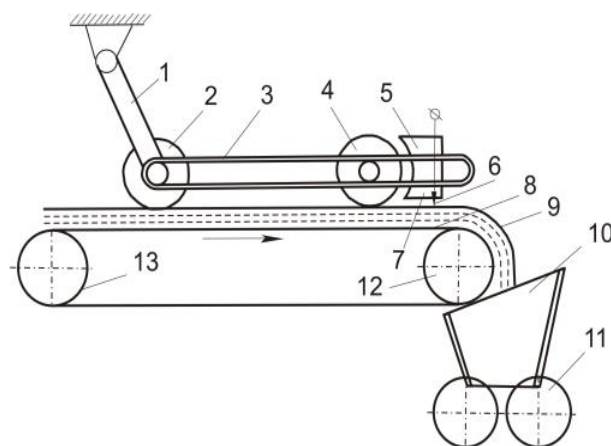
При использовании электростатических полей и поля коронного разряда могут быть выделены следующие опасные технологические процессы [3]:

- электроискровая обработка травы;
- предпосевная обработка семян.

Обработка травы осуществляется электростатическим полем в специальных электроплазмолизаторах вальцевого типа (рисунок 1.7). Вращаются два цилиндра-электрода, один из которых подключен к положительному, а другой к отрицательному полюсу. Обрабатываемый материал помещается в зазор толщиной 5-6 мм между вальцами. Напряженность электростатического поля между вальцами в некоторых случаях превышает 70 кВ/м, что представляет опасность для здоровья людей, т.к. ПДУ электростатического поля для производственного персонала составляет 21 кВ/м при воздействии в течение рабочего дня [5].

Предпосевная обработка семян в электростатическом поле используется для стимуляции семян перед посевом. Установка для обработки семян в электростатическом поле изображена на рисунке 1.8. Она состоит из металлического транспортера (сетка), на который засыпается зерно в один или несколько слоев, а так же неподвижного электрода, расположенного над зерном [2, 3].

Обработка семян осуществляется в электростатическом поле с напряженностью 250-600 кВ/м. При работе персонала с установкой в течение рабочего дня ПДУ может быть превышен в 12-29 раз [5].



1 – тяга; 2 – заземленный ролик; 3 – изолирующая тяга;
 4 – копирующий ролик; 5 – изоляционный корпус;
 6 – электрод разрядника; 7 – отверстие;
 8 – изоляционная транспортерная лента;
 9 – обрабатываемая трава; 10 – бункер;
 11 – плющильные вальцы; 12 и 13 – барабаны транспортера
 Рисунок 1.7 – Схема установки для обработки травы перед сушкой

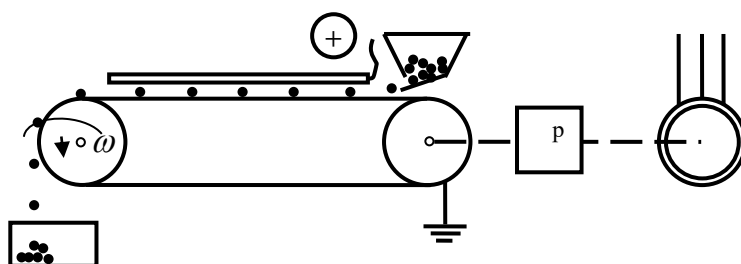


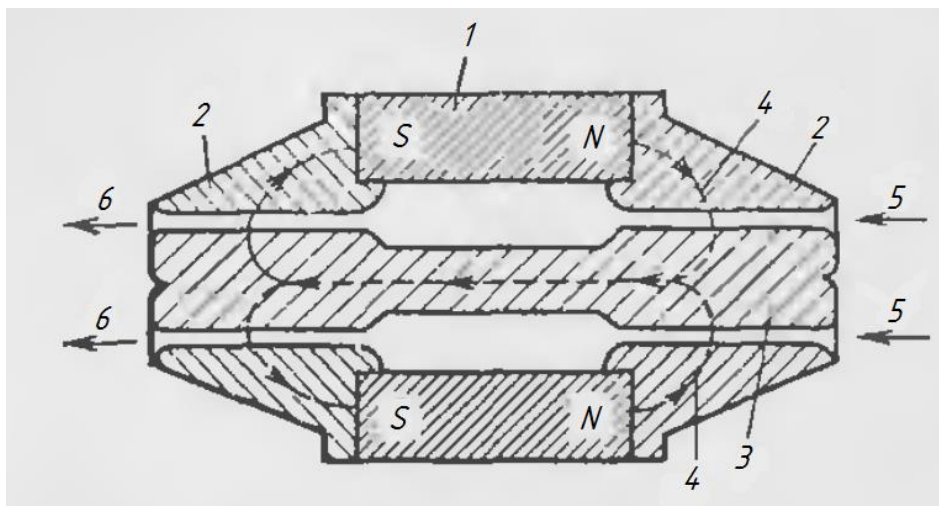
Рисунок 1.8 – Схема установки для обработки семян в электростатическом поле

В технологиях, использующих электрическое поле промышленной частоты, опасность может представлять обработка кормов электрическим током [3].

При обработке кормов электрическим током частотой от 50 до 1000 Гц (измельчение корнеплодов, соломенная резка, зернофураж, кормовые мешанки, пищевые отходы) допустимая плотность тока на электродах достигает 500-1500 А/м². Уровень электрического поля вокруг электродов может превышать ПДУ в несколько раз [5].

При использовании постоянных магнитных полей опасность может представлять процесс активации воды омагничиванием. Для омагничивания воды постоянным магнитным полем используют установки, оснащенные постоянными кольцевыми магнитами, изготовленные из сплава магнито (ВТИ-1) или из сплава «АЛНИ» (ВТИ-2) [20].

В данных агрегатах поток воды пересекает два поля (рисунок 1.9). Внутри кольцевых магнитов помещены сердечники из железа АРМКО, их диаметр определяет величину зазорами напряженность поля, составляющую около 80000 А/м. При этом напряженность постоянного магнитного поля, в частности, для аппаратов ВТИ-2 превышает ПДУ почти в 10 раз [3, 4].



1 – постоянный магнит; 2 – полюсные наконечники; 3 – сердечник;
4 – силовые линии; 5, 6 – вход и выход воды
Рисунок 1.9 – Схема аппарата ВТИ-2 для омагничивания воды

При использовании магнитных полей 50 Гц можно выделить следующие процессы с возможным превышением ПДУ [5-20]:

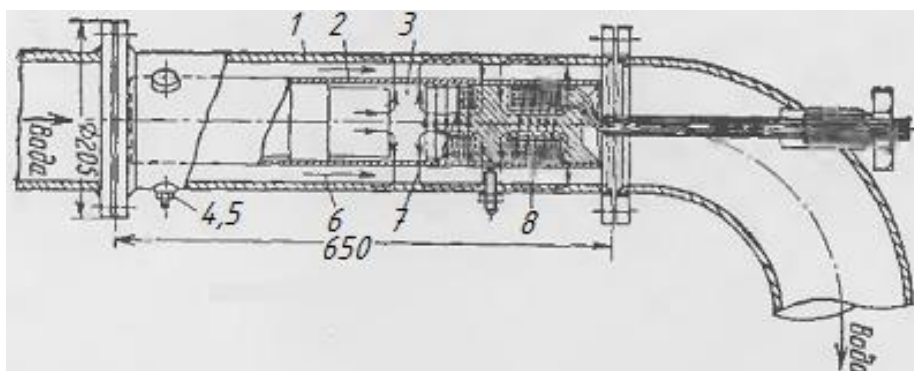
- омагничивание воды аппаратами с электромагнитами;
- стерилизация питательных растворов.

Активация воды магнитным полем 50 Гц реализуется в аппаратах с электромагнитами, расположение которых возможно как внутри корпуса, так и снаружи. Примером аппаратов с внутренним расположением электромагнитов является конструкция Алма-Атинского завода тяжелого машиностроения (рисунок 1.10). Электромагниты этих аппаратов типа АЗТМ состоят из стального стержня с шестью кольцевыми пазами. Кожух с электромагнитом заполнен трансформаторным маслом. Вода проходит семь магнитных полей со скоростью 2 м/с. Напряженность магнитного поля достигает $2 \cdot 10^5$ А/м. Согласно, для условий общего воздействия магнитного поля частотой 50 Гц время пребывания персонала на рабочем месте в течение 8 часов не должно превышать 80 А/м. В данном случае уровень напряженности магнитного поля промышленной частоты от аппаратов с электромагнитами превышает ПДУ в 125 раз, что представляет высокую опасность даже при сокращении времени работы с подобными установками до 1 часа в течение смены [1-3].

Однако СВЧ-излучение представляет значительную опасность. Экспериментальные исследования показали, что уровень ЭМИ, формируемый СВЧ-установками может превышать ПДУ в несколько десятков раз [5].

Внедрение в агропромышленный комплекс современных электротехнических изделий содействуют увеличению уровня опасного электромагнитного излучения от источников ЭМИ. Такими источниками могут быть компьютеры, электрические распределительные щиты, проводка, электролампы и тому подобное.

Анализ показывает [1-4, 21], что основные составные части персонального компьютера (ПК) при его работе формируют сложную электромагнитную обстановку на рабочем месте (таблица 1.21). Электромагнитное поле, создаваемое персональным компьютером, имеет спектральный состав в диапазоне частот от 0 Гц до 1000 МГц. Наличие в помещении нескольких компьютеров со вспомогательной аппаратурой и системой электропитания создает более сложную картину электромагнитного поля [22].



1 – корпус из диамагнитного материала; 2 – кожух;
 3 – электромагнит; 4, 5 – стопорный винт с гайкой;
 6 – направление движения воды; 7 – направление магнитных силовых линий; 8 – направление тока в катушке
 Рисунок 1.10 – Аппарат типа АЗТМ для омагничивания воды

Электромагнитная обстановка в помещении может ухудшиться при использовании вспомогательной техники. Большое влияние на электромагнитную обстановку объектов АПК оказывают электрические щиты, электрическая проводка 220 В и кабельные линии 380 В. В помещениях, смежных с этими источниками, обычно повышен уровень магнитного поля промышленной частоты. Уровень электрического поля частотой 50 Гц при этом обычно не превышает ПДУ [22].

Таблица 1.21 – Источники электромагнитного излучения ПК

Источник	Диапазон частот генерируемого электромагнитного поля ПК
Системный блок в сборе (процессор)	50 Гц - 1000 МГц
Устройства ввода/вывода (принтеры, сканеры, дис-ководы и др.)	0 Гц, 50 Гц
Источники бесперебойного питания, сетевые фильтры и стабилизаторы	50 Гц, 20 - 100 кГц
Монитор:	
- сетевой трансформатор блока питания	50 Гц
- статический преобразователь напряжения в импульсном блоке питания	20 - 100 кГц
- блок кадровой развертки и синхронизации	48 - 160 Гц
- блок строчной развертки и синхронизации	15 - 110 кГц
- ускоряющее анодное напряжение монитора	0 Гц

Особое место занимают внешние источники электромагнитных полей промышленной частоты, в частности, кабельные линии, проходящие вдоль наружных стен помещения. На рисунках 1.11, 1.12 приведены примеры распределения уровня магнитного поля в небольших помещениях [1, 22].

Уровень магнитного поля частотой 50 Гц от кабельной линии (рисунок 1.11) на 90 % площади превышает ПДУ (0,2 мкТл) в несколько раз [20].

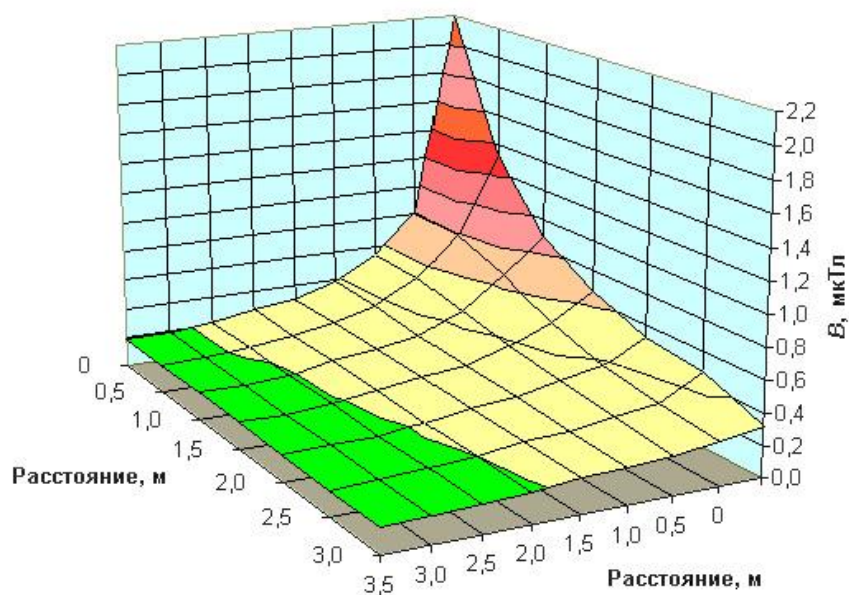


Рисунок 1.11 – Распределение магнитного поля 50 Гц в помещении
от общего силового кабеля

Возникновению магнитного поля промышленной частоты способствует разнесение в пространстве нулевого и фазного проводников, характерного для распределительных устройств.

Пример распределения магнитного поля промышленной частоты от распределительного пункта электропитания в смежном помещении показан на рисунке 1.12. На 60% площади уровень магнитного поля частотой 50 Гц, превышает ПДУ (0,2 мкТл) [5-10].

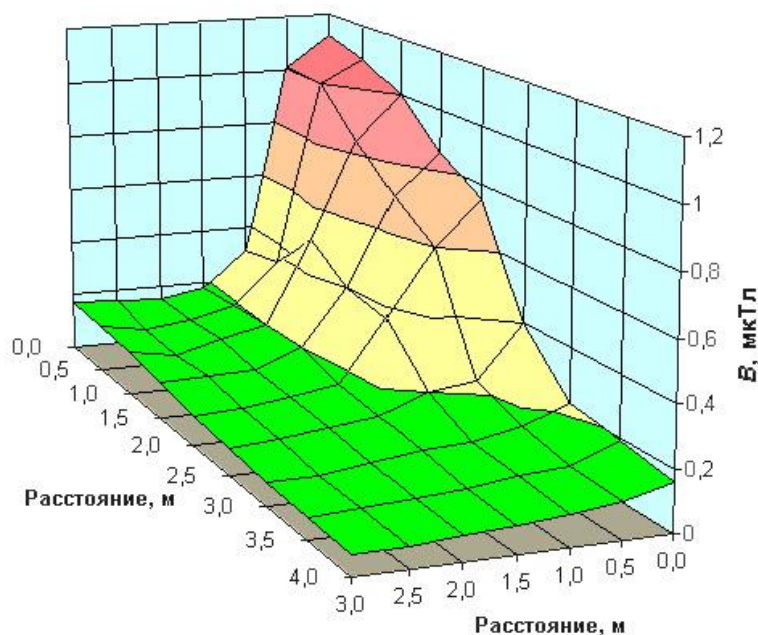


Рисунок 1.12 – Распределение магнитного поля 50 Гц в помещении
от распределительного пункта в смежном помещении

Проведенный анализ показывает, что на объектах АПК используются различные источники электромагнитных излучений, которые могут представлять высокую опасность для персонала из-за превышения ПДУ составляющих электромагнитного поля. Для

повышения электромагнитной безопасности нужно контролировать электромагнитную обстановку и применять обоснованные защитные мероприятия.

Существующие и перспективные способы контроля электромагнитной обстановки рассмотрены во втором разделе.

Практические задания

1. Определить ПДУ электростатического поля для людей, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ, в соответствии с предоставленными преподавателем данными.

2. Определить ПДУ электростатического поля для производственного персонала в соответствии с предоставленными преподавателем данными.

3. Определить ПДУ постоянного магнитного поля для людей, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ, в соответствии с предоставленными преподавателем данными.

4. Определить ПДУ постоянного магнитного поля для сотрудников производственной сферы в соответствии с предоставленными преподавателем данными.

5. Определить ПДУ электрического и магнитного полей частотой 50 Гц для людей, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ, в соответствии с предоставленными преподавателем данными.

6. Определить ПДУ электрического и магнитного полей промышленной частоты для производственного персонала в соответствии с предоставленными преподавателем данными.

7. Определить ПДУ электрического и магнитного полей ОНЧ диапазона для населения в соответствии с предоставленными преподавателем данными.

8. Определить ПДУ электрического и магнитного полей ОНЧ диапазона для производственного персонала в соответствии с предоставленными преподавателем данными.

9. Определить ПДУ электрического и магнитного полей НЧ диапазона для людей, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ, в соответствии с предоставленными преподавателем данными.

10. Определить ПДУ электрического и магнитного полей НЧ диапазона для сотрудников производственной сферы в соответствии с предоставленными преподавателем данными.

11. Определить ПДУ электрического и магнитного полей СЧ диапазона для населения в соответствии с предоставленными преподавателем данными.

12. Определить ПДУ электрического и магнитного полей СЧ диапазона для производственного персонала в соответствии с предоставленными преподавателем данными.

13. Определить ПДУ электрического и магнитного полей ВЧ диапазона для людей, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ, в соответствии с предоставленными преподавателем данными.

14. Определить ПДУ электрического и магнитного полей ВЧ диапазона для сотрудников производственной сферы в соответствии с предоставленными преподавателем данными.

15. Определить ПДУ электрического и магнитного полей ОВЧ диапазона для населения в соответствии с предоставленными преподавателем данными.

16. Определить ПДУ электрического и магнитного полей ОВЧ диапазона для производственного персонала в соответствии с предоставленными преподавателем данными.

17. Определить ПДУ электромагнитного поля УВЧ диапазона для людей, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ, в соответствии с предоставленными преподавателем данными.

18. Определить ПДУ электромагнитного поля УВЧ диапазона для сотрудников производственной сферы в соответствии с предоставленными преподавателем данными.

19. Определить ПДУ электромагнитного поля СВЧ диапазона для населения в соответствии с предоставленными преподавателем данными.
20. Определить ПДУ электромагнитного поля СВЧ диапазона для производственного персонала в соответствии с предоставленными преподавателем данными.
21. Определить ПДУ электромагнитного поля КВЧ диапазона для людей, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ, в соответствии с предоставленными преподавателем данными.
22. Определить ПДУ электромагнитного поля КВЧ диапазона для сотрудников производственной сферы в соответствии с предоставленными преподавателем данными.
23. Определить ПДУ электромагнитного поля ГВЧ диапазона для населения в соответствии с предоставленными преподавателем данными.
24. Определить ПДУ электромагнитного поля ГВЧ диапазона для производственного персонала в соответствии с предоставленными преподавателем данными.
25. Определить категорию излучений на рабочих местах по данным, предоставленным преподавателем.
26. Сравнить нормы электрических и магнитных полей стандартов РФ, ВОЗ, INIRC/IRPA и CENELEC по данным, предоставленным преподавателем.

Контрольные вопросы

1. Каковы последствия воздействия электромагнитных полей Земли на организм человека?
2. Что лежит в основе установления ПДУ электромагнитных полей?
3. Какие параметры электромагнитных излучений влияют на биологическую реакцию организма?
4. Назовите электротехнологические процессы при использовании электромагнитного поля ВЧ и СВЧ.
5. К каким последствиям приводит действие электромагнитных излучений на нервную систему человека?
6. Поясните принципы оценки и нормирования магнитного поля промышленной частоты.
7. К каким последствиям приводит действие электромагнитных излучений в критических случаях?
8. Что понимается под кумулятивным эффектом, возникающим в условиях воздействия электромагнитных полей?
9. Какие параметры ЭМП измеряются при санитарно-гигиеническом контроле?
10. Какие нормативные документы в области электромагнитной безопасности необходимо использовать при контроле и оценке ЭМП?
11. Назовите гигиенические нормы электростатического поля.
12. Поясните принципы оценки и нормирования электрического поля.
13. К каким последствиям приводит действие электромагнитных излучений на сердечнососудистую систему человека?
14. Назовите процессы с возможным превышением ПДУ при использовании магнитных полей 50 Гц.
15. Для чего применяется энергетическая экспозиция? Укажите ее ПДУ для радиочастотного диапазона.
16. Приведите нормируемые параметры электромагнитного поля радиочастотного диапазона.
17. Укажите ПДУ электромагнитного поля радиочастотного диапазона, воздействующего на человека в течение рабочего дня.
18. Перечислите производственные источники электростатического поля.

19. Назовите источники магнитных полей.
20. Какие Вам известны антропогенные источники электромагнитного излучения промышленной частоты?
21. Приведите электроустановки, создающие ЭМИ радиочастотного диапазона.
22. При какой напряженности электростатического поля работа без применения средств защиты не допускается?
23. Что такое плотность потока энергии?
24. Назовите электротехнологические процессы при использовании электростатического поля и поля коронного разряда.
25. Приведите пример электротехнологических процессов при использовании электрического поля 50 Гц.
26. Назовите электротехнологические процессы при использовании магнитного поля.
27. Какие симптомы заболеваний возникают у людей при продолжительном пребывании в зонах с повышенной интенсивностью ЭМИ?
28. Назовите опасные технологические процессы при использовании электростатических полей и поля коронного разряда.
29. Приведите предельно допустимые уровни ЭМП от различных категорий источников электромагнитных излучений.
30. Как повысить электромагнитную безопасность?

2 Контроль электромагнитной обстановки на объектах с источниками электромагнитных излучений

2.1 Способы контроля электромагнитной обстановки

Анализ наиболее известных способов контроля электромагнитной обстановки позволяет выделить несколько основных групп.

Первая группа реализует измерение напряженности электростатического поля. В частности, можно выделить способ, в соответствии с которым контроль электрических полей проводят путем периодического воздействия на защищенный неподвижным экранирующим электродом измерительный электрод электростатического поля, периодического экспонирования и экранирования, считывания сигнала с измерительного электрода, его усиления и регистрации. Между внешней поверхностью экранирующего электрода и измерительным электродом измеряют разность потенциалов и подключают к экранирующему электроду источник постоянного тока с ЭДС, большей значения измеряемого потенциала поля до момента равенства нулю указанной разности потенциалов [23, 24].

Существует также группа способов исследования электрического поля промышленной частоты. Например, однокоординатный метод измерения напряженности электрического поля частотой 50 Гц основан на помещении в исследуемое пространство одной пары чувствительных элементов, входящих в общий датчик и находящихся на координатной оси, проходящей через центр датчика, ориентировании данных чувствительных элементов в электрическом поле промышленной частоты до момента получения наибольшей составляющей и определении модуля вектора напряженности путем измерения этой составляющей [25].

Кроме того, для измерения напряженности электрического поля частотой 50 Гц применяется двухкоординатный способ, основанный на помещении в исследуемое пространство двух пар чувствительных элементов, входящих в общий датчик и находящихся на двух координатных осях, проходящих через центр датчика, ориентировании этих чувствительных элементов в двух плоскостях электрического поля промышленной частоты, измерении двух его

составляющих и определении модуля вектора напряженности путем геометрического суммирования измеренных составляющих [26].

Третья группа способов контроля реализует измерение магнитных полей в широком диапазоне: от 5 Гц до 50 МГц. В частности, можно выделить способ измерения электронно-оптическим способом, включающим использование электронно-оптического муарового эффекта, возникающего при наложении искаженного магнитным полем теневого изображения сетки на экране электронографа на неискаженное изображение сетки [20]. При этом о величине напряженности магнитного поля судят по величине искажения, обусловленного отклонением пучка электронов в измеряемом магнитном поле силой Лоренца. В качестве неискаженного изображения сетки используют теневое изображение сетки на экране электронографа, полученное в отсутствие измеряемого магнитного поля, а наложение упомянутых изображений осуществляют путем последовательного экспонирования на одну и ту же фотопластинку искаженного и неискаженного изображений сетки.

Известна также группа способов, характеризуемая расширенным диапазоном исследования электрического поля: от 5 Гц до 300 МГц. Измерение напряженности электрического поля в этом диапазоне частот возможно с помощью способа, заключающегося в том, что в исследуемое пространство одновременно помещают n -пар проводящих чувствительных элементов, входящих в общий датчик, симметрировании наружных поверхностей датчика относительно координатных плоскостей с расположением центров поверхностей чувствительных элементов попарно на n осях выбранной системы координат симметрично относительно ее начала. При этом датчик ориентируют и затем поддерживают так, чтобы вектор напряженности электрического поля был равноудален от координатных осей датчика, т.е. чтобы его составляющие по координатным осям были равны, а конфигурацию и размер чувствительных элементов выбирают из условия минимума погрешности от неоднородности электрического поля при максимальном пространственном диапазоне измерения, при этом модуль вектора напряженности измеряемого электрического поля определяют измерением одной из составляющих датчика [27].

Кроме того, существует способ измерения, заключающийся в помещении в исследуемое пространство одновременно N пар одинаковых проводящих чувствительных элементов, входящих в общий датчик, симметрировании наружной поверхности датчика относительно координатных плоскостей с расположением центров наружных поверхностей чувствительных элементов попарно на N равномерно расположенных осях выбранной многокоординатной системы координат симметрично относительно ее начала, нахождение составляющих вектора напряженности электрического поля по каждой паре чувствительных элементов как разности потоков вектора напряженности электрического поля, при этом конфигурацию и размер поверхностей чувствительных элементов выбирают из расчета равенства между собой векторов напряженности поля заряженного датчика с учетом отсутствия мешающих полей, а получаемые с каждой пары чувствительных элементов сигналы поочередно опрашивают и фиксируют, затем выделяют из них максимальное значение, измеряя которое находят модуль вектора напряженности электрического поля [28].

Известен также способ измерения напряженности электрического поля в широком пространственном диапазоне от 0 Гц до 300 МГц с повышенной точностью и чувствительностью. Данный способ основан на помещении в исследуемое пространство одновременно n пар проводящих чувствительных элементов, симметрировании наружных поверхностей датчика относительно координатных плоскостей с расположением центров поверхностей чувствительных элементов попарно на n осях выбранной системы координат симметрично относительно ее начала. При этом модуль вектора напряженности измеряемого электрического поля определяют измерением составляющих датчика и его ориентируют в пространстве так, чтобы одна из составляющих вектора напряженности по одной из координатных осей датчика стала равна нулю, затем, фиксируя датчик в этом положении, поворачивают датчик вокруг найденной координатной оси до достижения равенства двух

других составляющих вектора напряженности электрического поля по координатным осям датчика [29].

Следующая группа способов контроля реализует исследование уровней низкочастотных электромагнитных полей в диапазоне от 5 Гц до 400 кГц. К ним можно отнести способ измерения уровней низкочастотного электромагнитного излучения в полосе частот от 5 Гц до 2 кГц, заключающийся в том, что измерения производят с использованием приемной антенны и анализатора спектра электромагнитного излучения, который представляет собой портативную электронно-вычислительную машину (ЭВМ). Способ относится к технике радиоизмерений и может быть использован при определении уровней электромагнитного излучения, создаваемого радиоэлектронными средствами различного назначения в полосе частот, включающей промышленную частоту 50 Гц [3].

Для определения уровня низкочастотного электромагнитного излучения средств электронно-вычислительной техники в диапазоне частот 5 Гц - 400 кГц используется способ, заключающийся в том, что измерение уровня исследуемых ЭМИ производят дважды с помощью приемной антенны, фильтра и измерительного прибора в двух полосах частот 5 Гц - 2 кГц и 2 кГц - 400 кГц: при отсутствии фильтра и при его наличии, а затем искомый результат определяют аналитически [5].

Может быть выделена также группа способов контроля параметров электромагнитного поля реализующая измерение уровней электромагнитных полей в диапазоне частот от 30 МГц до 300 ГГц. Например, для измерения интенсивности электромагнитных полей используется способ, заключающийся в помещении в измеряемое электромагнитное поле K антенн-датчиков и регистрации напряжений на элементе нагрузки K антенн-датчиков $U_1...U_K$, пропорциональных напряженности воздействующего электромагнитного поля. При этом все K антенн-датчики имеют отличные друг от друга амплитудно-частотные характеристики, число K антенн-датчиков выбирают равным числу источников излучения N или выше него, а напряженности всех N составляющих электромагнитного поля $E_1...E_N$ определяют из решения системы линейных уравнений. Способ относится к области измерения параметров электромагнитного поля и может быть использован для определения степени безопасности персонала и решения других аналогичных задач. Он реализуется с использованием различных вариантов выполнения антенн-датчиков в измерительных приборах, предназначенных для измерения уровня электромагнитных полей в целях определения опасных для жизнедеятельности уровней ЭМИ [4].

Отдельно можно выделить группу способов, использующуюся для исследования уровней электромагнитных излучений в терагерцовом диапазоне от 300 ГГц до 3 ТГц. В частности, известен способ детектирования электромагнитных волн, заключающийся в направлении потока измеряемого терагерцового излучения из источника ЭМИ одновременно с потоком оптического излучения накачки из источника оптической накачки на нелинейно-оптический кристалл. При этом детектирование электромагнитных волн в этом частотном диапазоне выполняют при комнатной температуре, исключая использование криогенной техники и лазерных источников фемтосекундного излучения без привлечения дополнительных калиброванных источников или приемников терагерцового излучения.

Известен также способ детектирования ЭМИ при помощи структур, формируемых на основе полупроводниковых материалов, с потенциальным барьером и массивом квантово-размерных объектов в области барьера. Способ может быть использован в устройствах для формирования изображения, определения координат исследуемых объектов, оптической пеленгации, контроля и измерения параметров излучения, автоматического управления и электромагнитного мониторинга.

Для контроля электромагнитных излучений терагерцового диапазона используется также способ распознавания материальных объектов по модуляции их собственного ЭМИ в субмиллиметровом диапазоне, заключающийся в регистрации излучения с помощью фото диода. При этом полученный сигнал после предварительного усиления регистрируют с помощью анализатора спектра или специальной компьютерной программы на ПЭВМ, после

чего сравнивают полученный спектр электромагнитного излучения анализируемого объекта с ранее полученными спектрами ЭМИ этого же объекта и выявляют из них спектр, идентичный вновь полученному.

Существующие способы контроля электромагнитной обстановки имеют узкую область применения и реализуют измерение только отдельных составляющих ЭМП. При этом отсутствует возможность получения полной картины опасности контролируемого пространства, так как для этого необходимо производить измерения во всех его точках для всех составляющих поля и возможных частот излучения.

Действующие нормативные документы устанавливают предельно допустимые уровни (ПДУ) электромагнитного излучения, воздействующего на рабочий персонал и людей, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ. Однако более информативным и удобным для восприятия параметром является допустимое время пребывания человека в зоне влияния электромагнитных полей, создаваемых различными источниками [2].

Поэтому для оценки опасности электромагнитных излучений в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова разработана следующая концепция многочастотного контроля.

2.2 Разработка принципов многочастотного контроля электромагнитных полей и излучений

Состояние электромагнитной обстановки на контролируемом объекте оценивается пространственной картиной электромагнитной опасности, представляющей собой карту допустимого времени пребывания человека в различных зонах исследуемого пространства, получаемую в результате выявления наиболее опасных составляющих электромагнитного излучения от различных источников в диапазоне исследуемых частот и последующего компьютерного моделирования электромагнитного поля.

Опасные составляющие электромагнитных излучений соответствуют наименьшему допустимому значению времени пребывания человека в точках измерения напряженностей электрических, магнитных полей и плотности потока энергии (ППЭ) электромагнитных РЧ-полей вблизи источников излучения на частотах, регламентированных действующими нормативными документами [5-19].

В соответствии с разработанной концепцией:

- проводятся экспериментальные исследования уровней статических электрических полей, переменных электрических, магнитных и электромагнитных полей в диапазоне частот и на расстоянии от центра каждой внешней поверхности каждого источника излучения, соответствующих требованиям санитарно-эпидемиологических правил и нормативов; при этом учитывают только наибольшие значения напряженностей электрического, магнитного полей и плотности потока энергии;

- определяется наименьшее допустимое время пребывания людей в зонах воздействия излучения от внешних поверхностей источников ЭМИ в измеренных статических электрических полях и частотных диапазонах переменных электрических, магнитных и электромагнитных полей;

- измеренные значения напряженностей электрических, магнитных полей и ППЭ, соответствующие наименьшему допустимому времени пребывания людей в зонах воздействия излучения от внешних поверхностей источников ЭМИ, используют для компьютерного моделирования пространственной картины электромагнитных излучений в исследуемом помещении;

- на основе результатов компьютерного моделирования получают картины уровней электрического, магнитного и электромагнитного полей во всех точках исследуемых объектов;

- с помощью полученной пространственной картины электромагнитных полей определяют области исследуемого пространства, характеризующиеся превышением предельно-допустимых уровней исследуемых полей;

- о состоянии электромагнитной обстановки судят по полученной пространственной картине опасности электромагнитного излучения, преобразуя узловые значения шкалы напряженности электрического или магнитного полей или плотности потока энергии в узловые значения допустимого времени пребывания, формируя шкалу допустимого времени и заменяя шкалу поля на шкалу допустимого времени пребывания в опасных зонах объекта;

- полученную пространственную картину опасности ЭМИ используют в качестве карты допустимого времени пребывания людей в различных зонах исследуемого помещения, а также для проведения организационно-технических мероприятий по снижению степени влияния электромагнитных излучений на людей, находящихся в рассматриваемом помещении.

2.3 Совершенствование принципов многочастотного контроля электромагнитных полей и излучений

В рамках развития концепции оценки состояния электромагнитной обстановки, разработанной в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова, сформированы новые принципы многочастотного контроля электромагнитных излучений, предусматривающие следующее.

1. Степень опасности ЭМИ оценивается не только по составляющим электромагнитного поля, соответствующим наименьшему допустимому времени пребывания людей в зонах воздействия излучения от внешних поверхностей источников ЭМИ, но и по всем остальным контролируемым составляющим. При этом предусматривается возможность оценки степени опасности каждой из контролируемых составляющих электромагнитного поля, а также их совокупного воздействия.

2. Моделирование пространственной картины электромагнитных излучений должно производиться по любой измеренной составляющей ЭМИ и предусматривать возможность получения наложенной картины излучений различной частоты.

3. Используемая методика математического моделирования электромагнитного поля и соответствующее программное обеспечение должны позволять решать задачи, поставленные в п. 2.

4. Форма представления картины опасности ЭМИ должна учитывать возможные диапазоны рабочего пространства людей в исследуемых помещениях и исключать различные значения допустимого времени пребывания для различных точек одной области рабочего пространства.

5. При измерении параметров различных составляющих электромагнитного поля должна быть предусмотрена возможность одновременного использования необходимого числа измерительных приборов, а также автоматизации процесса передачи данных в ЭВМ для моделирования электромагнитного поля и получения требуемых картин опасности ЭМИ, как от влияния отдельных составляющих электромагнитного поля ЭМИ, так и их совокупности.

2.4 Нормируемые диапазоны контроля электромагнитных полей

Для обоснования диапазонов функциональных параметров системы автоматизированного многочастотного контроля электромагнитных излучений, а также формализации построения картин опасности электромагнитной обстановки по допустимому времени, необходимо детализировать требования к базовой модификации технологического модуля с учетом возможных вариативных дополнений на основании анализа различных условий влияния электромагнитных полей (ЭМП).

В соответствии с нормативными документами воздействие ЭМП должно контролироваться в условиях влияния [5-20]:

- электростатического поля (ЭСП),
- постоянного магнитного поля (ПМП),
- электрического и магнитного полей промышленной частоты 50 Гц (ЭП и МП ПЧ),
- электромагнитных полей в диапазоне частот 10 кГц - 30 кГц,
- электромагнитных полей в диапазоне частот 30 кГц - 300 ГГц.

С учетом различных допустимых уровней воздействия электромагнитных излучений (ЭМИ) на разных частотах, последний из рассмотренных диапазонов, называемый радиочастотным, дополнительно разбивается на поддиапазоны: 30 кГц - 3 МГц; 3 МГц - 30 МГц; 30 МГц - 50 МГц; 50 МГц - 300 МГц; 300 МГц - 300 ГГц.

При этом выделяются условия воздействия ЭМП для двух укрупненных групп [2, 5]:

- персонала, профессионально связанного с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМП;

- персонала, профессионально не связанного с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМП, в том числе, лиц, работа или обучение которых не связаны с необходимостью пребывания в зонах влияния источников ЭМИ; лиц, не проходящих предварительных при поступлении на работу и периодических медицинских осмотров по данному фактору или при наличии отрицательного заключения по результатам медицинского осмотра; работающих или учащихся лиц, не достигших 18 лет; женщин в состоянии беременности; лиц, находящихся в жилых, общественных и служебных зданиях и помещениях, а также лиц, находящихся на территории жилой застройки и в местах массового отдыха.

Будем далее называть воздействия ЭМП для первой группы – производственными, а для второй группы – воздействием на население.

В соответствии с разработанной нами концепцией, одним из путей снижения трудоемкости оценки состояния и получения полной пространственной картины электромагнитной обстановки является моделирование электромагнитного поля по результатам ограниченного числа измерений вблизи источников электромагнитного излучения. Оценка состояния электромагнитной обстановки может производиться с помощью пространственной картины электромагнитной опасности, представляющей собой карту допустимого времени пребывания человека в различных зонах исследуемого пространства. Эта картина формируется в результате выявления наиболее опасных составляющих электромагнитного излучения от различных источников в диапазоне исследуемых частот и последующего компьютерного моделирования электромагнитного поля. Форма представления этой картины может быть в виде цветных областей, окрашенных в различные тона в зависимости от числового значения допустимого времени или в виде пространственной совокупности цилиндрических зон помещения с заранее заданным радиусом, каждая из которых соответствует одному значению допустимого времени пребывания человека (цилиндрическая картина) [2].

Таким образом, практическая реализация предложенного подхода базируется на значениях допустимого времени пребывания в ЭМП различного диапазона частот и различной интенсивности. Эти значения не всегда явно представлены в нормативных документах. Поэтому возникает необходимость определения этого времени для контролируемых диапазонов контроля ЭМП при отсутствии информации, прямо определяющей нормируемые значения времени [5-20].

Для обобщающего подхода применительно к условиям воздействия ЭМП всех анализируемых частотных диапазонов необходимо более детальное рассмотрение и систематизация методов определения допустимого времени с учетом контролируемых составляющих ЭМИ.

2.5 Определение допустимого времени пребывания в электростатическом поле

Для определения степени воздействия источников ЭМИ на возможность пребывания в различных зонах был разработан способ многофакторного контроля электромагнитных излучений.

Для реализации способа на объектах с источниками ЭМИ проводятся измерения нормируемых параметров электростатического, постоянного магнитного, переменных электрического, магнитного и электромагнитного полей соответственно на граничных частотах: 0 Гц, 50 Гц, 10 кГц, 30 кГц, 3 МГц, 30 МГц, 50 МГц и от 300 МГц до 3 ТГц [5-20]), включая также внутридиапазонные частоты. В точках измерения определяется допустимое время пребывания людей в ЭМП различного диапазона частот и различной интенсивности. Однако значения допустимого времени не всегда явно представлены в нормативных документах. Поэтому возникает необходимость определения этого времени для контролируемых диапазонов частот ЭМП при отсутствии информации, прямо определяющей нормируемые значения времени [2].

Ниже рассмотрена методика определения допустимого времени на примере нормируемых частотных диапазонов ЭМП для источников ЭМИ в АПК.

Известны расчетные выражения для определения допустимого времени пребывания в зоне воздействия электромагнитного поля на людей, профессионально связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ, в производственных условиях. Это время определяется в зависимости от предельно допустимых уровней электромагнитных полей [5].

В частности, предельно допустимый уровень напряженности электростатического поля (ЭСП) при воздействии менее 1 часа за смену составляет 60 кВ/м. Допустимое время пребывания персонала в этом поле (час) без средств защиты можно определить по формуле (2.1)

$$t_{\text{доп}} = \left(\frac{60}{E_{\text{факт}}} \right)^2, \quad (2.1)$$

где $E_{\text{факт}}$ – измеренное значение напряженности электростатического поля, создаваемого источниками ЭМИ кроме ПК и других средств информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), на частоте 0 Гц, кВ/м;

При воздействии этого поля более 1 часа за смену величина ПДУ напряженности электростатического поля определяется по формуле (2.2) [5]

$$E_{\text{пду}} = \frac{60}{\sqrt{t}}, \quad (2.2)$$

где t – время воздействия, ч.

Вычисленное по формуле (2.2) ПДУ напряженности электростатического поля для людей, профессионально связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ, при воздействии в течение 8 часов составляет ≈ 21 кВ/м.

Аналогично можно определить допустимое время пребывания на рабочих местах с персональными компьютерами и другими средствами информационно-коммуникационных технологий.

Нормированный в предельно допустимый уровень напряженности электростатического поля, создаваемого ПК и ИКТ, равен 15 кВ/м при его воздействии в течение 8-часового рабочего дня. В соответствии с формулой (2.2) ПДУ напряженности электростатического поля, создаваемого ПК и ИКТ, при его воздействии в течение 1 часа за смену (не нормированное), составляет ≈ 43 кВ/м.

Допустимое время пребывания человека (час) в этом поле, создаваемом ПК и ИКТ, без средств защиты можно определить по формуле

$$t_{\text{доп}} = \left(\frac{43}{E_{\text{факт}}} \right)^2, \quad (2.3)$$

где $E_{\text{факт}}$ – измеренное значение напряженности электростатического поля, создаваемого ПК и ИКТ, кВ/м.

2.6 Определение допустимого времени пребывания в постоянном магнитном поле

Допустимое время пребывания персонала в постоянном магнитном поле для условий общего и локального воздействия можно определить с помощью табличных данных .

2.7 Определение допустимого времени пребывания в электромагнитном поле частотой 50 Гц

При определении допустимого времени пребывания людей в электрическом поле (ЭП) промышленной частоты руководствуются следующим.

ПДУ напряженности электрического поля промышленной частоты для людей, профессионально связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ при воздействии в течение всей смены (8 часов) составляет 5 кВ/м. Допустимое время пребывания людей (час) в этом можно рассчитать по формуле (2.4) [5]

$$t_{\text{доп}} = \left(\frac{50}{E_{\text{факт}}} \right) - 2, \quad (2.4)$$

где $E_{\text{факт}}$ – измеренное значение напряженности электрического поля, создаваемого источниками ЭМИ кроме бытовой техники, ПК и ИКТ, на промышленной частоте 50 Гц, кВ/м.

Нормированное значение ПДУ напряженности электрического поля промышленной частоты, создаваемого ПК и ИКТ на рабочих местах, составляет 0,025 кВ/м для 8-часового рабочего дня. Используя формулу (2.4), можно получить формулу для определения допустимого времени пребывания человека (час) в электрическом поле 50 Гц, создаваемом ПК и ИКТ.

$$t_{\text{доп}} = \left(\frac{0,25}{E_{\text{факт}}} \right) - 2, \quad (2.5)$$

где $E_{\text{факт}}$ – измеренное значение напряженности электрического поля, создаваемого ПК и ИКТ, на частоте 50 Гц, кВ/м.

Для изделий бытовой техники кроме ПК и ИКТ предельно допустимый уровень напряженности электрического поля 50 Гц для людей, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ, составляет 0,5 кВ/м. Учитывая это значение допустимое время пребывания людей (час) в электрическом поле 50 Гц бытовой техники можно рассчитать по формуле (2.6) [2, 5]

$$t_{\text{доп}} = \left(\frac{5}{E_{\text{факт}}} \right) - 2, \quad (2.6)$$

где $E_{\text{факт}}$ – измеренное значение напряженности электрического поля, создаваемого бытовой техникой кроме ПК и ИКТ, на частоте 50 Гц, кВ/м.

Допустимое время пребывания персонала в магнитном поле, создаваемом источниками ЭМИ кроме бытовой техники, ПК и ИКТ, на частоте 50 Гц можно определить, используя кривую интерполяции предельно допустимых уровней поля внутри временных интервалов, представленную в для условий общего воздействия, по формуле [5]:

$$t_{\text{доп}} = \frac{1600}{H_{\text{факт}}}, \quad (2.7)$$

где $H_{\text{факт}}$ – измеренное значение напряженности магнитного поля, создаваемого источниками ЭМИ кроме бытовой техники, ПК и ИКТ, на частоте 50 Гц, А/м.

При локальном воздействии магнитного поля промышленной частоты допустимое время пребывания персонала вблизи производственных электроустановок определяется аналогично.

Аналогично определяется и допустимое время пребывания людей в зонах действия магнитного поля частотой 50 Гц от ПК и ИКТ, используя таблично заданные в нормированные значения этих показателей, по формуле [5]:

$$t_{\text{доп}} = \frac{4}{H_{\text{факт}}}, \quad (2.8)$$

где $H_{\text{факт}}$ – измеренное значение напряженности магнитного поля, создаваемого ПК и ИКТ, на промышленной частоте 50 Гц, А/м.

2.8 Определение допустимого времени пребывания в электромагнитном поле диапазона 10 кГц - 30 кГц

В частотном диапазоне от 10 до 30 кГц для производственных условий ПДУ напряженности электрического поля на рабочем месте составляет 500 В/м, а магнитного поля – 50 А/м. Учитывая продолжительность смены 8 часов, допустимое время пребывания (час) в электрическом поле можно рассчитать по формуле (2.9) [5-10]

$$t_{\text{доп}} = 8 \cdot \left(\frac{500}{E_{\text{факт}}} \right)^2, \quad (2.9)$$

где $E_{\text{факт}}$ – измеренное значение напряженности электрического поля, создаваемого источниками ЭМИ в диапазоне частот от 10 до 30 кГц, В/м.

Аналогично можно определить допустимое время пребывания рабочего персонала (час) в зонах действия магнитного поля, используя выражение (2.10) [5-10]

$$t_{\text{доп}} = 8 \cdot \left(\frac{50}{H_{\text{факт}}} \right)^2, \quad (2.10)$$

где $H_{\text{факт}}$ – измеренное значение напряженности магнитного поля, создаваемого источниками ЭМИ в диапазоне частот от 10 до 30 кГц, А/м.

Нормативные документы не определяют значений допустимых уровней ЭМП частотой 10 кГц - 30 кГц для населения, поэтому допустимое время для этой категории не рассчитывается.

2.9 Определение допустимого времени пребывания в электромагнитном поле диапазона 30 кГц - 300 ГГц

Расчет допустимого времени пребывания в электромагнитном поле диапазона от 30 кГц до 300 ГГц для производственных условий выполняется в соответствии с положениями, приведенными в [2-20]:

- оценка и нормирование ЭМП осуществляется по величине энергетической экспозиции;
- энергетическая экспозиция в диапазоне частот 30 кГц - 300 МГц рассчитывается по формулам (2.11) и (2.12);
- энергетическая экспозиция в диапазоне частот от 300 МГц до 300 ГГц рассчитывается по формуле (2.13).

$$\mathcal{E}\mathcal{E}_E = E^2 \cdot t, \quad (2.11)$$

$$\mathcal{E}\mathcal{E}_H = H^2 \cdot t, \quad (2.12)$$

$$\mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{ППЭ}} = \text{ППЭ} \cdot t, \quad (2.13)$$

где $\mathcal{E}\mathcal{E}_E$ – энергетическая экспозиция по напряженности электрического поля, (В/м)²·ч;

$\mathcal{E}\mathcal{E}_H$ – энергетическая экспозиция по напряженности магнитного поля, (А/м)²·ч;

$\text{ЭЭ}_{\text{ППЭ}}$ – энергетическая экспозиция по плотности потока энергии, $(\text{Вт}/\text{м}^2) \cdot \text{ч}$;

E – напряженность электрического поля, $\text{В}/\text{м}$;

H – напряженность магнитного поля, $\text{А}/\text{м}$;

ППЭ – плотность потока энергии, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

t – время воздействия за смену, ч.

Значения ПДУ энергетических экспозиций, напряженности электрических и магнитных полей, а также плотности потока энергии представлены в табличном виде.

Принимая во внимание продолжительность рабочей смены 8 ч, допустимое время в производственных условиях для каждой из составляющих ЭМП может быть определено из обобщающей формулы (2.14) для напряженностей электрического и магнитного полей и (2.15) для плотности потока энергии [5-15].

$$\text{П}_{\text{факт}}^2 \cdot t = \text{П}_{\text{пду}}^2 \cdot 8, \quad (2.14)$$

где $\text{П}_{\text{факт}}$ – значение контролируемого параметра (напряженности электрического или магнитного полей);

$\text{П}_{\text{пду}}$ – предельно допустимое значение контролируемого параметра для производственных условий;

$$\text{ППЭ}_{\text{факт}} \cdot t = \text{ППЭ}_{\text{пду}} \cdot 8, \quad (2.15)$$

где $\text{ППЭ}_{\text{факт}}$ – значение плотности потока энергии;

$\text{ППЭ}_{\text{пду}}$ – предельно допустимое значение плотности потока энергии для производственных условий.

Таким образом, допустимое время пребывания (час) в электрическом поле 30 кГц - 3 МГц, с ПДУ энергетической экспозиции 20000 $(\text{В}/\text{м})^2 \cdot \text{ч}$ [5], может быть определено по формуле (2.16) [5]

$$t_{\text{доп}} = \frac{20000}{(E_{\text{факт}})^2}, \quad (2.16)$$

где $E_{\text{факт}}$ – измеренное значение напряженности электрического поля, создаваемого источниками ЭМИ в диапазоне частот от 30 кГц до 3 МГц, $\text{В}/\text{м}$.

Допустимое время пребывания (час) в магнитном поле 30 кГц - 3 МГц, с ПДУ энергетической экспозиции 200 $(\text{А}/\text{м})^2 \cdot \text{ч}$ [5], можно определить по формуле (2.17) [5]

$$t_{\text{доп}} = \frac{200}{(H_{\text{факт}})^2}, \quad (2.17)$$

где $H_{\text{факт}}$ – измеренное значение напряженности магнитного поля, создаваемого источниками ЭМИ в диапазоне частот от 30 кГц до 3 МГц, $\text{А}/\text{м}$.

Допустимое время пребывания (час) в электрическом поле 3 - 30 МГц, с ПДУ энергетической экспозиции 7000 $(\text{В}/\text{м})^2 \cdot \text{ч}$ [5], предлагается определять по формуле (2.18)

$$t_{\text{доп}} = \frac{7000}{(E_{\text{факт}})^2}, \quad (2.18)$$

где $E_{\text{факт}}$ – измеренное значение напряженности электрического поля, создаваемого источниками ЭМИ в диапазоне частот от 3 до 30 МГц, $\text{В}/\text{м}$.

Допустимое время пребывания (час) в электрическом поле 30 - 300 МГц, с ПДУ энергетической экспозиции 800 $(\text{В}/\text{м})^2 \cdot \text{ч}$ [5], можно определить по формуле (2.19)

$$t_{\text{доп}} = \frac{800}{(E_{\text{факт}})^2}, \quad (2.19)$$

где $E_{\text{факт}}$ – измеренное значение напряженности электрического поля, создаваемого источниками ЭМИ в диапазоне частот от 30 до 300 МГц, $\text{В}/\text{м}$.

Допустимое время пребывания (час) в магнитном поле 30 - 50 МГц, с ПДУ энергетической экспозиции 0,72 $(\text{А}/\text{м})^2 \cdot \text{ч}$ [5], можно определить по формуле (2.20)

$$t_{\text{доп}} = \frac{0,72}{(H_{\text{факт}})^2}, \quad (2.20)$$

где $H_{\text{факт}}$ – измеренное значение напряженности магнитного поля, создаваемого источниками ЭМИ в диапазоне частот от 30 до 50 МГц, А/м.

Допустимое время пребывания (час) в электромагнитном поле 300 МГц - 300 ГГц, с ПДУ энергетической экспозиции $200 \text{ (мкВт/см}^2\text{)} \cdot \text{ч}$ [5], может быть определено по формуле (2.21)

$$t_{\text{доп}} = \frac{200}{\text{ППЭ}_{\text{факт}}}, \quad (2.21)$$

где $\text{ППЭ}_{\text{факт}}$ – измеренное значение плотности потока энергии от источников ЭМИ в диапазоне частот от 300 МГц до 300 ГГц, мкВт/см².

Расчет допустимого времени пребывания в электромагнитном поле для населения проводится в соответствии с [2]:

- в диапазоне частот от 300 Гц до 300 МГц – по эффективным значениям напряженности электрического поля E (В/м) по формуле (2.22); плотности магнитного потока B (нТл) или напряженности магнитного поля (А/м) с помощью выражений (2.24) или (2.25) соответственно;

- в диапазоне частот от 300 МГц до 300 ГГц – по средним значениям ППЭ (мкВт/см²) по формуле (2.28).

$$t_{\text{доп}} = 24 \cdot \left(\frac{E_{\text{пду}}}{E_{\text{сумм}}} \right)^2, \quad (2.22)$$

где $t_{\text{доп}}$ – время допустимого пребывания, ч;

$E_{\text{пду}}$ – предельно допустимое значение напряженности электрического поля нормируемого частотного диапазона, В/м;

$E_{\text{сумм}}$ – суммарная напряженность источников электрического поля, В/м:

$$E_{\text{сумм}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n E_i^2}, \quad (2.23)$$

где E_i – напряженность электрического поля, создаваемая i -м источником, В/м;

n – количество источников ЭМИ.

$$t_{\text{доп}} = 24 \cdot \left(\frac{H_{\text{пду}}}{H_{\text{сумм}}} \right)^2, \quad (2.24)$$

или

$$t_{\text{доп}} = 24 \cdot \left(\frac{B_{\text{пду}}}{B_{\text{сумм}}} \right)^2, \quad (2.25)$$

где $t_{\text{доп}}$ – время допустимого пребывания, ч;

$H_{\text{пду}}$ – предельно допустимое значение напряженности магнитного поля нормируемого частотного диапазона, А/м;

$H_{\text{сумм}}$ – суммарная напряженность источников магнитного поля (в А/м), определяемая по формуле (2.26).

$B_{\text{пду}}$ – предельно допустимое значение плотности магнитного потока, нТл;

$B_{\text{сумм}}$ – суммарная плотность магнитного потока (в нТл), определяемая по формуле (2.27).

$$H_{\text{сумм}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n H_i^2}, \quad (2.26)$$

$$B_{\text{сумм}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n B_i^2}, \quad (2.27)$$

где H_i – напряженность магнитного поля, создаваемая i -м источником, В/м;
 B_i – плотность магнитного потока, создаваемая i -м источником ЭМИ, нТл;
 n – количество источников ЭМИ.

$$t_{\text{доп}} = 24 \cdot \frac{\text{ППЭ}_{\text{пду}}}{\text{ППЭ}_{\text{сумм}}}, \quad (2.28)$$

где $t_{\text{доп}}$ – время допустимого пребывания, ч;

$\text{ППЭ}_{\text{пду}}$ – ПДУ плотности потока энергии нормируемого частотного диапазона, мкВт/см²;

$\text{ППЭ}_{\text{сумм}}$ – суммарная плотность потока энергии источников ЭМИ, мкВт/см²:

$$\text{ППЭ}_{\text{сумм}} = \sum_{i=1}^n \text{ППЭ}_i, \quad (2.29)$$

где ППЭ_i – плотность потока энергии, создаваемая i -м источником ЭМИ, мкВт/см²;

n – количество источников ЭМИ.

Таким образом, допустимое время пребывания (час) в электрическом поле 300 Гц - 300 кГц, с ПДУ напряженности электрического поля 25 В/м, может быть определено по формуле (2.30) [2]

$$t_{\text{доп}} = 24 \cdot \left(\frac{25}{E_{\text{факт}}} \right)^2, \quad (2.30)$$

где $E_{\text{факт}}$ – измеренное значение напряженности электрического поля, создаваемого источниками ЭМИ в диапазоне частот от 300 Гц до 300 кГц, В/м.

Допустимое время пребывания (час) в электрическом поле 300 кГц - 3 МГц, с ПДУ напряженности электрического поля 15 В/м, может быть определено по формуле (2.31) [2]

$$t_{\text{доп}} = 24 \cdot \left(\frac{15}{E_{\text{факт}}} \right)^2, \quad (2.31)$$

где $E_{\text{факт}}$ – измеренное значение напряженности электрического поля, создаваемого источниками ЭМИ в диапазоне частот от 300 кГц до 3 МГц, В/м.

Допустимое время пребывания (час) в электрическом поле 3 - 30 МГц, с ПДУ напряженности электрического поля 10 В/м, предлагается определять по формуле (2.32) [2]

$$t_{\text{доп}} = 24 \cdot \left(\frac{10}{E_{\text{факт}}} \right)^2, \quad (2.32)$$

где $E_{\text{факт}}$ – измеренное значение напряженности электрического поля, создаваемого источниками ЭМИ в диапазоне частот от 3 до 30 МГц, В/м.

Допустимое время пребывания (час) в электрическом поле 30 - 300 МГц, с ПДУ напряженности электрического поля 3 В/м, может быть определено по формуле (2.33) [2]

$$t_{\text{доп}} = 24 \cdot \left(\frac{3}{E_{\text{факт}}} \right)^2, \quad (2.33)$$

где $E_{\text{факт}}$ – измеренное значение напряженности электрического поля, создаваемого источниками ЭМИ в диапазоне частот от 30 до 300 МГц, В/м.

Допустимое время пребывания (час) в магнитном поле 2 - 400 кГц вблизи ПК и других средств ИКТ, с ПДУ плотности магнитного потока 25 нТл, может быть определено по формуле (2.34) [3]

$$t_{\text{доп}} = 24 \cdot \left(\frac{25}{B_{\text{факт}}} \right)^2, \quad (2.34)$$

где $B_{\text{факт}}$ – измеренное значение плотности магнитного потока, создаваемого источниками ЭМИ в диапазоне частот от 2 до 400 кГц, нТл.

Допустимое время пребывания (час) в электромагнитном поле 300 МГц - 300 ГГц, с ПДУ плотности потока энергии 10 мкВт/см², может быть определено по формуле (2.35) [3]

$$t_{\text{доп}} = 24 \cdot \frac{10}{\text{ППЭ}_{\text{факт}}}, \quad (2.35)$$

где $\text{ППЭ}_{\text{факт}}$ – измеренное значение плотности потока энергии в диапазоне частот от 300 МГц до 300 ГГц, мкВт/см².

Учитывая, что ПДУ плотности потока энергии для случаев облучения от антенн, работающих в режиме кругового обзора или сканирования, составляет 25 мкВт/см², а для случаев облучения от радиотелефонов – 100 мкВт/см², формулы для определения допустимого времени пребывания (час) в электромагнитном поле 300 МГц - 300 ГГц могут быть представлены соответственно в виде (2.36) и (2.37)

$$t_{\text{доп}} = 24 \cdot \frac{25}{\text{ППЭ}_{\text{факт}}}, \quad (2.36)$$

$$t_{\text{доп}} = 24 \cdot \frac{100}{\text{ППЭ}_{\text{факт}}}, \quad (2.37)$$

где $\text{ППЭ}_{\text{факт}}$ – измеренные значения плотности потока энергии в диапазоне частот от 300 МГц до 300 ГГц, мкВт/см².

На рабочих местах с производственными источниками излучения в частотном диапазоне 300 ГГц - 3 ТГц интенсивность облучения (плотность теплового потока) в наиболее распространенных условиях не должна превышать 35 Вт/м² для случаев облучения более 50% поверхности тела, 70 Вт/м² – от 25 до 50%, 100 Вт/м² – соответственно менее 25%.

Учитывая продолжительность смены 8 часов, допустимое время пребывания (час) в электромагнитном поле этого диапазона частот можно рассчитать соответственно по формулам (2.38), (2.39) и (2.40) [2]

$$t_{\text{доп}} = 8 \cdot \frac{35}{E_{\text{факт}}}, \quad (2.38)$$

$$t_{\text{доп}} = 8 \cdot \frac{70}{E_{\text{факт}}}, \quad (2.39)$$

$$t_{\text{доп}} = 8 \cdot \frac{100}{E_{\text{факт}}}, \quad (2.40)$$

где $E_{\text{факт}}$ – измеренные значения плотности теплового потока в диапазоне частот от 300 ГГц до 3 ТГц для случаев облучения более 50%, 25-50% и соответственно менее 25% поверхности тела, Вт/м².

Для людей, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ, предельно допустимый уровень интенсивности ЭМП в диапазоне частот 300 ГГц - 3 ТГц для случаев облучения от средств отображения информации с визуальным контролем, экранов телевизоров, видеомониторов, осциллографов и других измерительных приборов составляет 4 Вт/м², в остальных случаях - 100 Вт/м². Допустимое время пребывания человека в этих условиях пребывания (час) можно рассчитать соответственно по формулам (2.41) и (2.42)

$$t_{\text{доп}} = 24 \cdot \frac{4}{E_{\text{факт}}}, \quad (2.41)$$

$$t_{\text{доп}} = 24 \cdot \frac{100}{E_{\text{факт}}}, \quad (2.42)$$

где $E_{\text{факт}}$ – измеренные значения плотности теплового потока в диапазоне частот от 300 ГГц до 3 ТГц, Вт/м².

2.10 Определение допустимого времени пребывания в электромагнитном поле диапазона 30 кГц - 300 ГГц при комбинированном воздействии ЭМИ

Методика определения допустимого времени пребывания при комбинированном воздействии ЭМИ рассмотрена для диапазона от 30 кГц до 300 ГГц и представлена для двух ситуаций.

Определение допустимого времени пребывания в электромагнитном поле диапазона 30 кГц - 300 ГГц при облучении от нескольких источников с одним значением ПДУ

Согласно [5-20] оценка и нормирование ЭМП в частотном диапазоне до 300 МГц осуществляется раздельно для электрического и магнитного полей, а в диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц проводятся измерения одного параметра электромагнитного поля.

Следовательно, в соответствии с при одновременном облучении от нескольких источников, для которых установлены одни и те же ПДУ, должны соблюдаться условия (2.43), (2.44), (2.45) [5]

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n E_i^2} \leq E_{\text{пду}}, \quad (2.43)$$

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n H_i^2} \leq H_{\text{пду}}, \quad (2.44)$$

$$\sum_{i=1}^n \text{ППЭ}_i \leq \text{ППЭ}_{\text{пду}}, \quad (2.45)$$

где E_i – напряженность электрического поля, создаваемая i -м источником, В/м;

H_i – напряженность магнитного поля, создаваемая i -м источником, А/м;

ППЭ_i – плотность потока энергии, создаваемая i -м источником ЭМИ, мкВт/см²;

$E_{\text{пду}}$ – ПДУ напряженности электрического поля нормируемого частотного диапазона, В/м;

$H_{\text{пду}}$ – ПДУ напряженности магнитного поля нормируемого частотного диапазона, А/м;

$\text{ППЭ}_{\text{пду}}$ – ПДУ плотности потока энергии нормируемого частотного диапазона, мкВт/см²;

n – количество источников ЭМИ.

Тогда расчетные формулы для производственных условий будут иметь вид (2.46), (2.47), (2.48) [2]

$$t_{\text{доп}} = 8 \cdot \left(\frac{E_{\text{пду}}}{E_{\text{сумм}}} \right)^2, \quad (2.46)$$

где $t_{\text{доп}}$ – допустимое время пребывания, ч;

$E_{\text{пду}}$ – предельно допустимое значение напряженности электрического поля нормируемого частотного диапазона, В/м;

$E_{\text{сумм}}$ – суммарная напряженность источников электрического поля, определяемая по формуле (1.24), В/м;

$$t_{\text{доп}} = 8 \cdot \left(\frac{H_{\text{пду}}}{H_{\text{сумм}}} \right)^2, \quad (2.47)$$

где $t_{\text{доп}}$ – допустимое время пребывания, ч;

$H_{\text{пду}}$ – предельно допустимое значение напряженности магнитного поля нормируемого частотного диапазона, А/м;

$H_{\text{сумм}}$ – суммарная напряженность источников магнитного поля, определяемая по формуле (1.27), А/м;

$$t_{\text{доп}} = 8 \cdot \frac{\text{ППЭ}_{\text{пду}}}{\text{ППЭ}_{\text{сумм}}}, \quad (2.48)$$

$\text{ППЭ}_{\text{пду}}$ – ПДУ плотности потока энергии нормируемого частотного диапазона, мкВт/см²;

$\text{ППЭ}_{\text{сумм}}$ – суммарная плотность потока энергии, определяемая по формуле (1.30), мкВт/см².

В качестве допустимого времени пребывания в ситуации с одной составляющей ЭМП принимается соответственно одно из трех значений, полученных по формулам (2.46), (2.47) и (2.48).

Однако, в условиях одновременного воздействия электрического, магнитного и электромагнитного полей согласно необходимо использовать обобщающую формулу, вывод которой подробнее описан в ситуации облучения от нескольких источников с разными значениями ПДУ [5-15].

Для населения расчетные формулы принимают вид (2.49), (2.50), (2.51)

$$t_{\text{доп}} = 24 \cdot \left(\frac{E_{\text{пду}}}{E_{\text{сумм}}} \right)^2, \quad (2.49)$$

где $t_{\text{доп}}$ – время допустимого пребывания, ч;

$E_{\text{пду}}$ – предельно допустимое значение напряженности электрического поля нормируемого частотного диапазона, В/м;

$E_{\text{сумм}}$ – суммарная напряженность источников ЭМИ, определяемая по формуле (1.24), В/м;

$$t_{\text{доп}} = 24 \cdot \left(\frac{H_{\text{пду}}}{H_{\text{сумм}}} \right)^2, \quad (2.50)$$

где $t_{\text{доп}}$ – допустимое время пребывания, ч;

$H_{\text{пду}}$ – предельно допустимое значение напряженности магнитного поля нормируемого частотного диапазона, А/м;

$H_{\text{сумм}}$ – суммарная напряженность источников магнитного поля, определяемая по формуле (1.27), А/м;

$$t_{\text{доп}} = 24 \cdot \frac{\text{ППЭ}_{\text{пду}}}{\text{ППЭ}_{\text{сумм}}}, \quad (2.51)$$

где $t_{\text{доп}}$ – допустимое время пребывания, ч;

$\text{ППЭ}_{\text{пду}}$ – ПДУ плотности потока энергии нормируемого частотного диапазона, мкВт/см²;

$\text{ППЭ}_{\text{сумм}}$ – суммарная плотность потока энергии, определяемая по формуле (1.30), мкВт/см².

Таким образом, расчет допустимого времени пребывания при облучении от нескольких источников с одним значением ПДУ при наличии одной составляющей ЭМП для производственных условий проводится с использованием формул (2.46) - (2.48), а

для людей, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ, – с помощью (2.49) - (2.51).

Определение допустимого времени пребывания в электромагнитном поле диапазона 30 кГц - 300 ГГц при облучении от нескольких источников с разными значениями ПДУ

Основываясь на [5] и учитывая раздельное нормирование электрического и магнитного полей в частотном диапазоне до 300 МГц, в условиях одновременного облучения от нескольких источников, работающих в диапазоне частот 30 кГц - 300 ГГц, для которых установлены разные ПДУ, предлагается соблюдать условие (2.52):

$$\sum_{j=1}^m \left(\frac{E_{\text{сумм } j}}{E_{\text{пду } j}} \right)^2 + \sum_{l=1}^p \left(\frac{H_{\text{сумм } l}}{H_{\text{пду } l}} \right)^2 + \sum_{k=1}^s \frac{\text{ППЭ}_{\text{сумм } k}}{\text{ППЭ}_{\text{пду } k}} \leq 1, \quad (2.52)$$

где $E_{\text{сумм } j}$ – суммарная напряженность электрического поля, создаваемая источниками ЭМИ j -го нормируемого диапазона, определяемая по формуле (2.23), В/м;

$E_{\text{пду } j}$ – ПДУ напряженности электрического поля j -го нормируемого диапазона, В/м;

$H_{\text{сумм } l}$ – суммарная напряженность магнитного поля, создаваемая источниками ЭМИ l -го нормируемого диапазона, определяемая по формуле (1.27), А/м;

$H_{\text{пду } l}$ – ПДУ напряженности магнитного поля l -го нормируемого диапазона, А/м;

$\text{ППЭ}_{\text{сумм } k}$ – суммарная плотность потока энергии, создаваемая источниками ЭМИ k -го нормируемого диапазона, мкВт/см²;

$\text{ППЭ}_{\text{пду } k}$ – ПДУ плотности потока энергии k -го нормируемого диапазона, мкВт/см²;

m – количество диапазонов, для которых нормируется E ;

p – количество диапазонов, для которых нормируется H ;

s – количество диапазонов, для которых нормируется ППЭ.

Использовать рассмотренный выше подход (формулы (2.46) - (2.51) для определения допустимого времени в этом не представляется возможным, поскольку выражение (2.52) в явном виде не включает значения $t_{\text{доп}}$. Однако, решение может быть найдено методом последовательных итераций путем определения значений каждой из составляющих E_j , H_l и ППЭ_k для каждого из заранее задаваемого ряда значений допустимого времени по формулам (2.53), (2.54), (2.55)

$$t_{\text{доп}} = 8 \cdot \left(\frac{E_{\text{пду } j}}{E_j} \right)^2, \quad (2.53)$$

$$t_{\text{доп}} = 8 \cdot \left(\frac{H_{\text{пду } l}}{H_l} \right)^2, \quad (2.54)$$

$$t_{\text{доп}} = 8 \cdot \frac{\text{ППЭ}_{\text{пду } k}}{\text{ППЭ}_k}, \quad (2.55)$$

где $t_{\text{доп}}$ – допустимое время пребывания, ч;

Искомое значение допустимого времени соответствует условию обеспечения равенства левой и правой частей выражения (2.52).

Существует также аналитический способ решения данной задачи без использования заранее задаваемого ряда значений допустимого времени. Для этого следует использовать формулы (2.11) - (2.13), из которых можно получить значения E , H и ППЭ в зависимости от времени допустимого пребывания [2].

Выражения (2.11) - (2.13) преобразуются соответственно в (2.56), (2.57) и (2.58)

$$E_{\text{пду}} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_E}{t}}, \quad (2.56)$$

$$H_{\text{пду}} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_H}{t}}, \quad (2.57)$$

$$\text{ППЭ}_{\text{пду}} = \frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{ППЭ}}}{t}. \quad (2.58)$$

Подставив (2.56), (2.57) и (2.58) в (2.52) получим выражение (2.59) [2-5]

$$\sum_{j=1}^m \left(\frac{E_{\text{сумм } j}}{\sqrt{\frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_E}{t}}} \right)^2 + \sum_{l=1}^p \left(\frac{H_{\text{сумм } l}}{\sqrt{\frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_H}{t}}} \right)^2 + \sum_{k=1}^s \frac{\text{ППЭ}_{\text{сумм } k}}{\frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{ППЭ}}}{t}} \leq 1. \quad (2.59)$$

Поскольку искомое значение допустимого времени пребывания соответствует условию обеспечения равенства левой и правой частей выражения (2.59), приравняем левую и правую части выражения, также выразив из них допустимое время пребывания (2.60)

$$t_{\text{доп}} = \left(\sum_{j=1}^m \frac{(E_{\text{сумм } j})^2}{\mathcal{E}\mathcal{E}_E} + \sum_{l=1}^p \frac{(H_{\text{сумм } l})^2}{\mathcal{E}\mathcal{E}_H} + \sum_{k=1}^s \frac{\text{ППЭ}_{\text{сумм } k}}{\mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{ППЭ}}} \right)^{-1}. \quad (2.60)$$

Используя формулу (1.61), можно выполнять расчет допустимого времени пребывания в области пересечения накладываемых зон опасности при облучении от нескольких источников ЭМИ с разными значениями ПДУ.

Таким образом, предложенный подход позволяет определять допустимое время пребывания в электромагнитном поле широкого диапазона частот от 30 кГц до 300 ГГц и различной интенсивности, в том числе, с учетом усиления результирующего действия составляющих ЭМП при их комбинированном влиянии.

Практические задания

1. Рассчитать допустимое время пребывания людей, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ, в электростатическом поле по предоставленным преподавателем данным.

2. Рассчитать допустимое время пребывания производственного персонала в электростатическом поле по предоставленным преподавателем данным.

3. Рассчитать допустимое время пребывания людей, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ, в постоянном магнитном поле по предоставленным преподавателем данным.

4. Рассчитать допустимое время пребывания сотрудников производственной сферы в постоянном магнитном поле по предоставленным преподавателем данным.

5. Рассчитать допустимое время пребывания людей, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ, в электрическом и магнитном полях частотой 50 Гц по предоставленным преподавателем данным.

6. Рассчитать допустимое время пребывания производственного персонала в электрическом и магнитном полях промышленной частоты по предоставленным преподавателем данным.

7. Рассчитать допустимое время пребывания населения в электрическом и магнитном полях ОНЧ диапазона по предоставленным преподавателем данным.

8. Рассчитать допустимое время пребывания производственного персонала в электрическом и магнитном полях ОНЧ диапазона по предоставленным преподавателем данным.

9. Рассчитать допустимое время пребывания людей, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ, в электрическом и магнитном полях НЧ диапазона по предоставленным преподавателем данным.

10. Рассчитать допустимое время пребывания сотрудников производственной сферы в электрическом и магнитном полях НЧ диапазона по предоставленным преподавателем данным.

11. Рассчитать допустимое время пребывания населения в электрическом и магнитном полях СЧ диапазона по предоставленным преподавателем данным.

12. Рассчитать допустимое время пребывания производственного персонала в электрическом и магнитном полях СЧ диапазона по предоставленным преподавателем данным.

13. Рассчитать допустимое время пребывания людей, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ, в электрическом и магнитном полях ВЧ диапазона по предоставленным преподавателем данным.

14. Рассчитать допустимое время пребывания сотрудников производственной сферы в электрическом и магнитном полях ВЧ диапазона по предоставленным преподавателем данным.

15. Рассчитать допустимое время пребывания населения в электрическом и магнитном полях ОВЧ диапазона по предоставленным преподавателем данным.

16. Рассчитать допустимое время пребывания производственного персонала в электрическом и магнитном полях ОВЧ диапазона по предоставленным преподавателем данным.

17. Рассчитать допустимое время пребывания людей, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ, в электромагнитном поле УВЧ диапазона по предоставленным преподавателем данным.

18. Рассчитать допустимое время пребывания сотрудников производственной сферы в электромагнитном поле УВЧ диапазона по предоставленным преподавателем данным.

19. Рассчитать допустимое время пребывания населения в электромагнитном поле СВЧ диапазона по предоставленным преподавателем данным.

20. Рассчитать допустимое время пребывания производственного персонала в электромагнитном поле СВЧ диапазона по предоставленным преподавателем данным.

21. Рассчитать допустимое время пребывания людей, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМИ, в электромагнитном поле КВЧ диапазона по предоставленным преподавателем данным.

22. Рассчитать допустимое время пребывания сотрудников производственной сферы в электромагнитном поле КВЧ диапазона по предоставленным преподавателем данным.

23. Рассчитать допустимое время пребывания населения в электромагнитном поле ГВЧ диапазона по предоставленным преподавателем данным.

24. Рассчитать допустимое время пребывания производственного персонала в электромагнитном поле ГВЧ диапазона по предоставленным преподавателем данным.

Контрольные вопросы

1. В чем заключаются принципы многочастотного контроля электромагнитных излучений?

2. Назовите способы контроля электромагнитных излучений в частотном диапазоне 3 Гц - 3 кГц.

3. Как рассчитать допустимое время пребывания в зоне воздействия электромагнитного поля, создаваемого индукционной печью?

4. Какие Вам известны способы контроля составляющих электромагнитного поля частотного диапазона 3 кГц - 3 МГц?
5. Как рассчитать допустимое время пребывания в зоне воздействия электромагнитного поля, создаваемого производственными установками?
6. Охарактеризуйте способы контроля электромагнитных излучений в частотном диапазоне 3 МГц - 3 ГГц.
7. Как рассчитать допустимое время пребывания в зоне воздействия электромагнитного поля, создаваемого ноутбуком с подключенным USB-модемом?
8. Опишите известные способы контроля электромагнитных излучений в частотном диапазоне 3 ГГц - 3 ТГц.
9. Как рассчитать допустимое время пребывания в зоне воздействия электромагнитного поля, создаваемого персональным компьютером и средствами информационно-коммуникационных технологий?
10. Как рассчитать допустимое время пребывания человека в электростатическом поле, создаваемом источниками ЭМИ, кроме ПЭВМ?
11. Как рассчитать допустимое время пребывания в зоне воздействия электромагнитного поля, создаваемого абонентским терминалом спутниковой связи?
12. Как определить допустимое время пребывания людей в электростатическом поле, создаваемом ПЭВМ?
13. Как рассчитать допустимое время пребывания в зоне воздействия электромагнитного поля, создаваемого бытовыми электроприборами?
14. Как рассчитать допустимое время пребывания человека в электрическом поле 50 Гц, создаваемом источниками ЭМИ, кроме ПЭВМ и бытовой техники?
15. Как рассчитать допустимое время пребывания в зоне воздействия электромагнитного поля, создаваемого антеннами базовых станций?
16. Как рассчитать допустимое время пребывания человека в электрическом поле 50 Гц, создаваемом ПЭВМ?
17. Как определить допустимое время пребывания человека в электрическом поле промышленной частоты, создаваемом бытовой техникой, кроме ПЭВМ?
18. Как рассчитать допустимое время пребывания человека в магнитном поле 50 Гц, создаваемом источниками ЭМИ, кроме ПЭВМ?
19. Как определить допустимое время пребывания человека в магнитном поле промышленной частоты, создаваемом ПЭВМ?
20. Как рассчитать допустимое время пребывания человека в электрических полях частотой до 300 МГц и магнитных полях частотой до 50 МГц?
21. Как определить допустимое время пребывания человека в электрических полях частотой до 300 МГц?
22. Как рассчитать допустимое время пребывания человека в полях ультравысоких, сверхвысоких или крайне высоких частот от 300 МГц до 300 ГГц?

3 Практическая реализация способа интегрированного контроля электромагнитной обстановки

Поле – особая форма материи, осуществляющая взаимосвязь между частицами.

Электромагнитное поле – особая форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между заряженными частицами. Характеризуется напряженностями (или индукциями) электрического и магнитного поля.

Электромагнитные волны – электромагнитное поле, распространяющееся в пространстве с конечной скоростью, зависящей от свойств среды.

Электромагнитное воздействие – электромагнитное явление или процесс, которые влияют или могут повлиять на биологические объекты. К электромагнитным воздействиям относятся создаваемые техническими средствами в окружающем пространстве электромагнитные, электрические и магнитные поля.

Электромагнитное излучение (ЭМИ) от источника помехи – явление, процесс, при котором электромагнитная энергия излучается источником помехи в пространство в виде электромагнитного поля.

Электромагнитная обстановка (ЭМО) – совокупность электромагнитных явлений и или процессов в данной области пространства или данной проводящей среде в частотном и временном диапазонах.

Изолированная электромагнитная обстановка – совокупность электромагнитных явлений или процессов в изолированной области пространства в которой исключается создание техническими средствами, находящимися в ней, электромагнитных помех и электромагнитных воздействий за пределами указанной области, а также исключается влияние на эти технические средства внешних электромагнитных помех.

Экран – устройство, используемое для уменьшения электромагнитного поля, проникающего в защищаемую область.

Электромагнитный мониторинг – это процесс оценки состояния электромагнитной обстановки на некоторой территории, проводимой по результатам измерения параметров электромагнитного поля с применением различных методов контроля [20].

Целью электромагнитного мониторинга является представление проектным, экологическим и другим заинтересованным организациям и частным лицам экспертных материалов по электромагнитной обстановке вблизи элементов энергетических систем, в том числе приборов бытового назначения.

К основным задачам в области электромагнитного мониторинга относятся:

- планирование и выполнение измерений;
- выбор необходимой измерительной аппаратуры;
- формулировка итоговых выводов и рекомендаций, повышающих электромагнитную безопасность и предотвращающих развитие различных заболеваний.

3.1 Аппаратурное и программное обеспечение

Для практической реализации способа интегрированного контроля электромагнитных излучений в общем случае необходимо производить измерения параметров электростатического, переменных электрического, магнитного и электромагнитного полей на частотах: 0 Гц, 50 Гц, 30 кГц, 3 МГц, 30 МГц, 50 МГц, 300 МГц и более (до 300 ГГц). При этом точность измерения должна соответствовать требованиям, установленным действующими нормативными документами [2-10].

С этой целью могут быть использованы следующие измерительные приборы:

- измеритель параметров электростатического поля ИПЭП-1;
- измеритель постоянного магнитного поля МТМ-01;
- измеритель параметров электрического и магнитного полей трехкомпонентный ВЕ-метр-АТ-004
- измеритель электромагнитных полей РЧ-диапазона ПЗ-41.
- измеритель электромагнитного поле ТГц-диапазона ИПП-2;
- анализатор электромагнитного поля АКС-1201.

Измеритель параметров электростатического поля ИПЭП-1 (рисунок 3.1) предназначен для измерения потенциалов электростатически заряженных объектов, напряжённости электростатического поля и поверхностной плотности электрических зарядов.

Прибор может быть использован для измерения параметров электростатического поля в текстильной, резиновой, кожевенной и бумажной промышленности, при производстве полимерных материалов, в печатном производстве, в приборостроении для измерения электро-

статических полей, создаваемых кинескопами, мониторами и электронными приборами, а также для определения напряжённости электростатического поля, создаваемого многими видами товаров народного потребления при проведении государственной гигиенической регламентации и регистрации на всех этапах государственного надзора.

В приборе имеется лазерный дальномер для определения расстояния до измеряемого объекта.

Для удобства проведения измерений на измерительных столах предусмотрены соответствующие аксессуаров. Питание прибора осуществляется от аккумуляторной батареи. Имеется сетевой адаптер и встроенное зарядное устройство с автоматическим отключением.

Заменяет приборы: ИЭП, ИЭЗ-П, ЭИ 4001, ИНЭП-12ДС

Особенности измерителя параметров электростатического поля ИПЭП-1

- Измерение напряженности до 1000 кВ/м
- Измерение потенциала до 50 кВ
- Лазерный дальномер на расстояние до объекта 2 и 10 см
- Режим перевенутой индикации на ЖК-индикаторе
- Интерфейс RS-232C



Рисунок 3.1 – Измеритель параметров электростатического поля ИПЭП-1

Таблица 3.1 – Основные технические характеристики измерителя параметров электростатического поля ИПЭП-1

Потенциал				
Диапазон измерений	(0,02 - 50) кВ			
Погрешность измерений	5 - 10%			
Напряжённость электростатического поля				
Диапазон измерений	(2 - 1000) кВ/м			
Погрешность измерений	5%			
Поверхностная плотность электрических зарядов				
Диапазон измерений	(0,02 - 10) мкКл/м ²			
Погрешность измерений	5%			
Общие характеристики				
Интерфейс	RS-232C			
Тип индикатора	ЖКИ			
Формат индикации	3,5 разряда			
Питание:				
Сеть	(220±22)	В,	50	Гц
Аккумулятор	4,5 - 5,5 В			
Потребляемая мощность	10 В · А			
Продолжительность работы от аккумуляторной батареи	8 ч			

Продолжение таблицы 3.1

Габаритные размеры (НхWxD)	106x268x40 мм
Масса	0,7 кг
Условия эксплуатации: Рабочая температура Влажность	5°C - 40°C 80% при 25 °C

Принцип действия измерителя основан на методе периодического экранирования приемного электрода. Для этого используется вращающийся (с помощью двигателя) заземленный экран (заслонка), который периодически закрывает приемный электрод от электростатического поля. Напряжение на приемном электроде периодически изменяется от нуля (когда электрод закрыт) до значения пропорционального потенциалу данной точки (когда электрод открыт).

Магнитометр трехкомпонентный малогабаритный - измеритель постоянного магнитного поля МТМ-01(рисунок 3.2), предназначен для обеспечения измерений биологически опасных уровней геомагнитного и гипогеомагнитного поля.

Измерительный преобразователь магнитного поля Земли выполнен на базе магниторезистивных датчиков, которые одновременно обеспечивают измерение ортогональных составляющих напряженности магнитного поля в контрольной точке и модуля вектора напряженности. При этом показания магнитометра не зависят от ориентации измерительного преобразователя в пространстве.



Рисунок 3.2 – Измеритель постоянного магнитного поля МТМ-01

Магнитометр МТМ-01 является также эффективным средством измерения качества магнитных защит и экранов для обеспечения нормальной электромагнитной безопасности работников и населения при эксплуатации распределительных трансформаторов и электросиловых установок.

Основные преимущества МТМ-01 при проведении комплексного санитарно-гигиенического обследования помещений и рабочих мест заключаются в следующем:

- полностью выполняется требование п.4.1.4. СанПиН 2.1.8/2.2.4.2489-09 из которого следует, что «контроль гипогеомагнитных условий на действующих объектах осуществляется посредством инструментальных измерений с использованием приборов ненаправленного приема, оснащенных изотропными (трехкоординатными) датчиками, предназначенных для определения величины напряженности или индукции постоянного магнитного поля, с допустимой относительной погрешностью измерения не более $\pm 20\%$ »;
- показания магнитометра не зависят от ориентации измерительного преобразователя в

пространстве;

- имеется возможность измерять уровни ослабления интенсивности геомагнитного поля в широком диапазоне $K_{ГМП} = 1 - 100$; при этом нормируемый предельно допустимый уровень ослабления интенсивности геомагнитного поля составляет $K_{огМП} = 4$.

Основные технические характеристики измерителя МТМ-01 приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Основные технические характеристики измерителя МТМ-01

Рабочий диапазон измерений напряженности электростатического поля, А/м	0,5-200
Предел допустимой основной относительной погрешности, % от 0,5 до 3 А/м от 3 до 200 А/м	± 20 ± 10
Масса прибора с аккумулятором, кг	0,8
Мощность, потребляемая измерителем от источника питания, не более, Вт	0,6
Габаритные размеры блока управления и индикации, мм	170×105×42
Температура окружающей среды при эксплуатации прибора, °С	+5 ... +40
Относительная влажность при температуре окружающего воздуха +25 °С, не более, %	90
Время непрерывной работы, не менее, ч	6
Длительность непрерывной работы измерителя без подзарядки аккумулятора, не менее, ч	16

Измеритель напряженности поля промышленной частоты ПЗ-50 (рисунок 3.3) предназначен для измерения напряженности электрического и магнитного полей промышленной частотой 50 Гц и применяется для контроля предельно допустимых уровней электрического и магнитного полей [30].

Работа измерителя ПЗ-50 основана на возбуждении в антенне-преобразователе (АП) под воздействием измеряемого поля переменного напряжения, пропорционального напряженности поля. Переменное напряжение предварительно усиливается в антенне-преобразователе и поступает на вход устройства отсчетного (УОЗ-50), где происходит его фильтрация, дальнейшее усиление, преобразование в постоянное напряжение и индикация.

Основными элементами измерителя являются: устройство отсчетное (УОЗ-50) и антенны-преобразователи (АП) направленного приема. Для измерения напряженности электрического поля предназначена антенна АП ЕЗ-50, для измерения магнитного поля – АП НЗ-50 [30].

Порядок работы с прибором ПЗ-50 при измерении уровней напряженности электрического и магнитного полей заключается в следующем.

1. При измерении уровней электрического поля подключите штатный кабель КЗ-50 к разъему на хвостовой части антенны-преобразователя (АП) типа ЕЗ-50, а при исследовании магнитного поля – АП типа НЗ-50.

2. Накрутите на АП пластмассовую ручку.

3. Подключите разъем на свободном конце кабеля к ответной части на отчетном устройстве УОЗ-50.

4. Установите переключатель «ВЫКЛ/КОНТ/ИЗМ» в положение «КОНТ».

5. Установите переключатель «×0,1/×1/×10» в положение «×1», а переключатель «2/20/200» – в положение «200». При этом на индикаторе УОЗ-50 появится контрольное число,

соответствующее напряжению питания прибора (число на индикаторе должно находиться в пределах от -100,0 до +150,0). При полностью разряженных элементах контрольное число станет менее -100,0. В этом случае следует заменить элементы питания.

6. Установите переключатель «ВЫКЛ/КОНТ/ИЗМ» в положение «ИЗМ».

7. При исследовании электрического поля установите переключатели « $\times 0,1/\times 1/\times 10$ » и «2/20/200» в положения, соответствующие пределу измерения 200 кВ/м (таблица 3.3), а при измерении уровней магнитного поля – в положения, соответствующие пределу измерения 2000 А/м согласно таблице 3.4.

Таблица 3.3 – Допускаемые комбинации переключателей лицевой панели УОЗ-50 при измерениях ЭП

Предел измерения, кВ/м	Положение переключателя « $\times 0,1/\times 1/\times 10$ »	Положение переключателя «2/20/200»
200	$\times 1$	200
20	$\times 1$	20
2	$\times 1$	2
0,2	$\times 0,1$	2

Таблица 3.4 – Допускаемые комбинации переключателей лицевой панели УОЗ-50 при измерениях ЭП

Предел измерения, кВ/м	Положение переключателя « $\times 0,1/\times 1/\times 10$ »	Положение переключателя «2/20/200»
2000	$\times 10$	200
200	$\times 1$	200
20	$\times 1$	20
2	$\times 1$	2
0,2	$\times 0,1$	2

8. Поместите антенну-преобразователь в измеряемое поле, удерживая ее за пластмассовую рукоятку в одной руке, а устройство отсчетное УОЗ-50 – в другой. Изменяя направление антенны-преобразователя, добейтесь максимального показания на индикаторе.

Если показания на индикаторе слишком малы, переключитесь на более чувствительный предел измерения, установив переключатели « $\times 0,1/\times 1/\times 10$ » и «2/20/200» в соответствующие положения согласно таблицам 3.3 и 3.4.

Если на индикаторе появляется символ перегрузки (цифра 1 в левом десятичном разряде индикатора при отсутствии цифр в других разрядах), то это означает, что напряженность измеряемого поля в точке измерения превышает величину установленного предела.

Оптимальным для проведения измерений является предел, на котором можно получить максимальное количество значащих цифр измеряемой величины.

9. Считайте показания с индикатора УОЗ-50.

10. В зависимости от измеряемого поля и выбранного предела измерения, определите напряженность электрического поля по формуле

$$E = M \cdot R, \quad (3.1)$$

где E – измеренное значение напряженности электрического поля, кВ/м;

M – множитель, задаваемый переключателем « $\times 0,1/\times 1/\times 10$ »;

R – число на индикаторе УОЗ-50.

Напряженность магнитного поля определяется по формуле

$$H = M \cdot R, \quad (3.2)$$

где H – измеренное значение напряженности магнитного поля, А/м.

Измеритель параметров электрического и магнитного полей трехкомпонентный «ВЕ-метр». Модификация «АТ-004» с блоком управления и индикации результатов измерения «НТМ-Терминал»

Модификация предназначена для контроля норм по электромагнитной безопасности при специальной оценке условий труда, производственном контроле и комплексных санитарно-гигиенических обследованиях объектов в диапазоне частот от 5 Гц до 400 кГц.



Рисунок 3.3 – Измеритель параметров электрического и магнитного полей трехкомпонентный ВЕ-метр-АТ-004

Основные технические характеристики измерителя ВЕ-метр-АТ-004 приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Основные технические характеристики измерителя ВЕ-метр-АТ-004

Метрологические характеристики Измерителя модификации "АТ-004"	
Диапазон частот от 5 Гц до 400 кГц	
поддиапазон 1 - от 5 Гц до 2 кГц	
поддиапазон 2 - от 2 кГц до 400 кГц	
поддиапазон 3 - от 45 Гц до 55 Гц	
поддиапазон 4 - от 5 Гц до 2 кГц за исключением полосы частот от 45 Гц до 55 Гц	
Диапазон измерений среднеквадратических значений напряженности электрического поля:	
в поддиапазоне 1	от 5 В/м до 1000 В/м
в поддиапазоне 2	от 0,5 В/м до 40 В/м
в поддиапазоне 3	от 5 В/м до 1000 В/м
в поддиапазоне 4	от 5 В/м до 1000 В/м
Диапазон измерений среднеквадратических значений напряженности магнитного поля (магнитной индукции):	
в поддиапазоне 1	от 80 мА/м до 8 А/м (от 100 нТл до 10 мкТл)
в поддиапазоне 2	от 4 мА/м до 400 мА/м (от 5 нТл до 500 нТл)
в поддиапазоне 3	от 80 мА/м до 8 А/м (от 100 нТл до 10 мкТл)
в поддиапазоне 4	от 80 мА/м до 8 А/м (от 100 нТл до 10 мкТл)

Продолжение таблицы 3.5

Пределы допускаемой относительной погрешности измерения среднеквадратических значений напряженности:	
электрического поля	$\pm 15\%$
магнитного поля (магнитной индукции)	$\pm 15\%$
Общие характеристики	
Параметр	Значение
Напряжение питания (постоянный ток)	(аккумуляторная батарея AAA) 3,6 ÷ 4,6 В
Потребляемая мощность	не более 0,3 Вт
Время непрерывной работы измерителя без подзарядки аккумуляторной батареи	8 часов
Масса	300 г
Габаритные размеры	500xD100 мм
Средний срок службы	5 лет

Измеритель электромагнитного излучения ПЗ-41 (рисунок 3.4) предназначен для обнаружения и контроля биологически опасных уровней электромагнитных излучений напряженности, плотности потока энергии и экспозиции для обеспечения выполнения требований Общего Технического Регламента об электромагнитной совместимости и безопасности, действующего в странах Европейского Союза и РФ. Прибор используется для исследования электромагнитных излучений радиочастотного диапазона [31].



Рисунок 3.4 – Измеритель электромагнитного излучения ПЗ-41

Отличительными особенностями измерителя ПЗ-41 являются:

- автокоррекция измерений при известной частоте;
- индивидуальная прошивка частотно динамических характеристик антенн-преобразователей;

- привязка результатов максимальных и средних значений к реальному масштабу времени;
- индикация уровня заряда аккумуляторных батарей;
- подсветка табло при работе в темноте;
- изотропное измерение сигналов;
- широкая полоса частот от 30 кГц до 40 ГГц (от 10 кГц до 60 ГГц по требованию Заказчика);
- широкий динамический диапазон от 0,26 мкВт/см² до 1 Вт/см² и от 0,5 до 1500 В/м (до 2000 В/м по требованию Заказчика);
- высокая точность и стабильность измерений;
- автоматизация измерений при подключении к персональной электронно-вычислительной машине (ПЭВМ) через оптический кабель длиной от 10 до 100 м;
- значительная помехоустойчивость к внешним электромагнитным полям и наводкам;

Измерение уровней электрических, магнитных и электромагнитных полей радиочастотного (РЧ) диапазона с помощью прибора ПЗ-41 проводится по следующей методике.

1. Вставьте в прибор соответствующую антенну (для электрических полей РЧ диапазона – это антенны АП-3 и АП-4, для магнитных полей – антенна АП-5, а для электромагнитных полей – антенны АП-1 и АП-2).
2. Включите прибор. На экране появится обозначение активной антенны (например, «Ант-3»).
3. С помощью кнопки «Установка параметров» перейдите в режим настройки прибора.
4. С помощью клавиш «<» и «>» выберете параметр «f, Hz» и установите требуемую частоту измерения (частота определяется требованиями к проводимым измерениям) с помощью клавиш «Вверх» и «Вниз».
5. С помощью клавиши «Ввод» запишите параметры в прибор.
6. С помощью клавиш «Е(Н)» и «ППЭ» выберете измеряемую величину.
7. Подводя антенну на расстояние 10 см к корпусам обследуемых аппаратов, запишите результаты измерений, отображаемые на дисплее прибора.

Возможно проведение измерений с использованием персонального компьютера (ПК). Это производится в соответствии со следующей методикой.

1. Вставьте в прибор соответствующую антенну.
2. Подключите к прибору цифровой кабель, поставляемый вместе с прибором. При этом следует соблюдать маркировку, указанную на кабеле.
3. Подключите второй конец кабеля к адаптеру, включенному в СОМ-порт ПК.
4. Подключите блок питания адаптера к электрической сети.
5. Установите на ПК программное обеспечение ПЗ-41 (если оно не было установлено ранее).
6. Включите прибор. На экране появится обозначение активной антенны (например, «Ант-3»).
7. Программное обеспечение должно показать состояние прибора и измеряемые им данные.
8. С помощью программного обеспечения можно задать частоту прибора (во вкладке «Установки»).
9. Проводите измерения в соответствии с предыдущей методикой, контролируя данные на вкладке «Измерения» программного обеспечения ПЗ-41.

Основные характеристики антенн-преобразователей представлены в таблице 3.6, а характеристики измерительного устройства прибора ПЗ-41 – в таблице 3.7.

Таблица 3.6 – Характеристики антенн-преобразователей измерителя ПЗ-41

Тип антенны-преобразователя	АП-1 (ППЭ)	АП-2 (ППЭ)	АП-3 (Е)	АП-4 (Е)	АП-5 (Н)
Рабочий диапазон частот	0,3 - 40 ГГц	0,3 - 40 ГГц	0,03 - 300 МГц	0,03 - 300 МГц	0,03 – 50 МГц
Пределы измерения электрической составляющей напряженности, В/м	1 - 615	61,4 -1940	0,5 - 500	10 - 1500	-
Пределы измерения магнитной составляющей напряженности, А/м	-	-	-	-	0,05-8
Пределы измерения плотности потока энергии, мкВт/см ²	0,26 - 100000	1000 - 1000000	0,066 - 800	26,5 - 600000	-
Неравномерность коэффициента преобразования в рабочем диапазоне частот, не более, дБ	9	9	12	8	7
Пределы допускаемой дополнительной погрешности измерителя, обусловленной отклонением температуры окружающего воздуха от нормальной в пределах рабочих температур на каждые 10 °С, не более, дБ	±0,6	±0,6	±1,0	±1,0	±1,0
Вес, кг	0,14	0,14	0,2	0,2	0,3

Таблица 3.7 – Характеристики измерительного устройства

Результаты измерения, выводимые на индикатор (с подсветкой в темноте)	Текущие значения В/м, А/м, мкВт/см ² , мВт/см ² ; максимальные и средние значения В/м, А/м, мкВт/см ² , мВт/см ² за последние 6 мин. измерения; результаты измерения экспозиции: (В/м) ² ·t, (А/м) ² ·t, мкВт/см ² ·t, где t – время с момента включения прибора
Основная погрешность измерения при введении в процессор частоты анализируемого излучения	От -2,7 до +2,7 дБ (произвольная поляризация)
Дополнительные функции	Отображение средних и максимальных значений напряженности поля за 8 часов работы на ПЭВМ через волоконно-оптический кабель с привязкой к реальному масштабу времени для обработки
Функции предупреждения	Визуальное и звуковое оповещение при достижении одного из допустимых значений напряженности, ППЭ или экспозиции, вводимых пользователем в процессор
Калибровка	Автоматическая
Рабочая температура	От -10 до +50 °С

Продолжение таблицы 3.7

Питание	2 аккумуляторных батареи типоразмера АА емкостью 1 А·ч
Время непрерывной работы, не менее	16 ч

Портативный измеритель скорости тепловых потоков ИПП-2 (рис 3.5) предназначен для контроля по ГОСТ 25380-92 плотности потоков, проходящих через однослойные и многослойные ограждающие конструкции зданий и сооружений, через облицовку и теплоизоляцию энергообъектов при экспериментальном исследовании и в условиях эксплуатации.

Портативный измеритель скорости тепловых потоков ИПП-2 имеет возможность попеременного подключения к одному прибору до восьми различных зондов тепловых потоков:



Рисунок 3.5 – Измеритель электромагнитного поля ТГц-диапазона ИПП-2

Особенности измерителя плотности тепловых потоков ИПП-2:

- светодиодная индикация;
- интерфейс RS-232;
- внутренняя память до 10000 точек;
- питание от аккумуляторов

Портативный измеритель скорости тепловых потоков ИПП-2 имеет возможность попеременного подключения к одному прибору до восьми различных зондов тепловых потоков:

Модификации зондов для измерения плотности теплового потока:

- ПТП-0.25 П, ПТП-0.5 П, ПТП-2.0 П, ПТП-9.9 П - зонды для измерения плотности тепловых потоков с пружиной;
- ПТП-0.25, ПТП-0.5, ПТП-2.0, ПТП-9.9 - зонды для измерения плотности тепловых потоков без пружины.

Модификации зондов для измерения температуры потоков:

- ТПП-D-L, ТХА-D-L, ТХК-A-D-L, ТХА-A-D-L - погружные зонды для измерения температуры
- ТХАП-D-L - зонды для измерения температуры поверхности
- ТХА-A-D-ЛЦ, ТХК-A-D-ЛЦ - зонды для измерения температуры цилиндрической поверхности.

Таблица 3.8 – Технические характеристики измерителя электромагнитного поля ИПП-2

Параметры	Значение							
	ИПП-2 с ПТП- 0,25	ИПП-2 с ПТП- 0,5	ИПП-2 с ПТП- 2,0	ИПП-2 с ПТП- 9,9	ИПП-2 с ПТП- 0,25П	ИПП-2 с ПТП- 0,5П	ИПП-2 с ПТП- 2,0П	ИПП-2 с ПТП- 9,9П
Исполнение измерительного преобразователя	преобразователь таблетка (без пружины)				преобразователь прижимного типа (с пружиной)			
Диапазон измерения плотности теплового потока, Вт/м ² , не более	от 10 до 250	от 10 до 500	от 10 до 2000	от 10 до 9999	от 10 до 250	от 10 до 500	от 10 до 2000	от 10 до 9999
Приведенная погрешность измерения плотности тепловых потоков при 20 °С, % (не более)	5							
Единицы представления	Вт/м ²							
Единицы представления температуры	°С							
Индикация тепловых потоков и температуры	светодиодная							
Разрешающая способность измерения плотности теплового потока, Вт/м ²	1							
Разрешающая способность измерения температуры, °С	0,1							
Разрешающая способность индикации: - температуры, °С - плотности теплового потока, Вт/м ²	0,1 1							
Количество поддерживаемых прибором зондов теплового потока	до 8							
Количество точек автоматической статистики, не менее	10000							
Питание прибора	+2,2...+2,8 В от 2 аккумуляторов ААА (750 мАч)							

Продолжение таблицы 3.8

Потребляемая мощность, мВт, не более: - в режиме индикации - в спящем режиме (режим "SLEEP") - во время зарядки	200 10 2000
Время непрерывной работы при питании от батареек, часов (не менее): - в режиме индикации - в спящем режиме (режим "SLEEP")	12 200
Время заряда аккумуляторов, ч, (не более)	4
Интерфейс связи с компьютером	RS-232
Длина линии связи по RS-232, м, не более	15
Схема подключения температурного зонда	четырёхпроводная
Максимальная длина соединительного кабеля температурного зонда, м	100
Максимальная длина соединительного кабеля зонда плотности теплового потока, м	20
Масса, кг, не более	0,2
Габаритные размеры, мм, не более	130x70x25
Рабочие условия применения блока измерения: - температура воздуха, °С - относительная влажность, % (без конденсации влаги) - атмосферное давление, кПа	-20...+50 10...95 84...106
Средний срок службы, лет	5

Анализатор электромагнитного поля АКС-1201 (рисунок 3.6) рассчитан на работу с максимальными частотами до 2 ГГц и предназначен для тестирования, ввода в действие и обслуживания оборудования систем телекоммуникаций, сотовых телефонных сетей, радиотелефонов, радиостанций в полосе частот персональной радиосвязи, пейджинговых систем, кабельных и спутниковых систем телевидения, для измерения параметров антенн.



Рисунок 3.6 – Внешний вид анализатора спектра АКС-1201

К отличительным особенностям анализатора электромагнитного поля АКТАКОМ АКС-1201 относятся:

1. Встроенный частотомер.
2. Жидкокристаллический дисплей (192x192 точек) со светодиодной подсветкой.
3. Встроенный демодулятор (кроме N-FM) и громкоговоритель для аудиоконтроля.
4. Работа с сигналами, модулированными по типу узкополосной частотной модуляции (N-FM), широкополосной частотной модуляции (W-FM), амплитудной модуляции (AM), с использованием одной боковой полосы (SSB).
5. Отображение уровней сигналов на жидкокристаллическом дисплее одновременно до 160-ти каналов.
6. Фазовая автоподстройка частоты для точной настройки и измерения частоты.
7. Функция автоматического отключения: 30 минут после последнего нажатия клавиш.

Технические характеристики анализатора спектра АКС-1201 представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Технические характеристики анализатора спектра АКС-1201

Частотный диапазон	100 кГц ... 2060 МГц
Погрешность частоты	$\pm 3 \times 10^{-6}$
Режимы приема	N-FM, W-FM, AM, SSB
Шаг частоты	6,25 кГц в диапазоне от 5 кГц до 9995 кГц
Память каналов	10 банков по 160 каналов (1600 каналов)
Память данных	10 банков по 160 (1600)
Память данных установок	10 банков по 3 режима сканирования
Чувствительность приема	0...6 дБмкВ - э.д.с. (Сигнал/шум: 12 дБ при N-FM, 10 дБ при W-FM)
Скорость сканирования	12,5 каналов в секунду (максимум)
Входной импеданс	50 Ом (стандарт)
Макс. входн. напряжение	5 В среднеквадратичного значения
Аудио выход	120 мВт на спикер-фон с входным сопротивлением 8 Ом

Рассмотренная аппаратурная база позволяет выполнять все нужные измерения при реализации метода интегрированного контроля электромагнитных излучений.

Чтобы получить информацию о величине электромагнитного поля на исследуемом объекте в любой точке контролируемого пространства нужно использовать компьютерное моделирование. Для этого может быть использовано программное обеспечение COMSOL Multiphysics, разработанное компанией Comsol Inc и предназначенное для решения различных проблем, формулируемых в терминах дифференциальных уравнений в частных производных [32].

Отличительная особенность программы COMSOL Multiphysics это то, что она имеет простую, гибкую и удобную настройку и интерпретацию вычислительных моделей, основанных на дифференциальных уравнениях в частных производных [32]. Так же имеется возможность комбинировать моделирование с симуляцией динамических систем и с многочисленными другими аналитическими и численными методами анализа в науке и технике. Есть возможность создавать линейные или нелинейные модели, соответствующие скалярной, или многокомпонентной краевой задаче.

Пакет поддерживает также задачи на собственные значения и частоты.

3.2 Методика интегрированного контроля электромагнитной обстановки с использованием технологического модуля

Методика реализации предложенного подхода к оценке состояния электромагнитной обстановки на основе моделирования электромагнитного поля по результатам ограниченного числа измерений и построения картин опасности ЭМИ в виде карты допустимого времени пребывания в различных зонах обследуемого помещения включает несколько этапов.

1. По результатам измерения геометрической формы помещения, линейных размеров и взаимного расположения источников ЭМИ строится компьютерная трёхмерная модель пространства помещения с учетом всех источников излучения. При этом каждый объект на плане представляется в форме параллелепипеда.

2. Проводится измерение значений всех контролируемых параметров ЭМП (напряжённостей электрического и магнитного полей, плотности потока энергии) в нормируемых диапазонах частоты (0 Гц, 50 Гц, 30 кГц - 300 ГГц), включая поддиапазоны (30 кГц - 3 МГц;

3 МГц - 30 МГц; 30 МГц - 50 МГц; 50 МГц - 300 МГц), а также, при необходимости, на более высоких частотах, на расстояниях от каждой внешней поверхности каждого источника излучения, соответствующих требованиям санитарно-эпидемиологических правил и нормативов. При этом учитывают только наибольшие значения напряженностей электрического, магнитного полей и плотности потока энергии.

3. По каждому из выбранных значений измеренных параметров ЭМП для соответствующих диапазонов частоты осуществляют компьютерное моделирование, в результате которого получают набор пространственных картин ЭМП по контролируемым составляющим во всех точках помещения.

4. Каждая из полученных пространственных картин ЭМП используется для формирования точечных и (или) цилиндрических картин опасности по каждой контролируемой составляющей.

5. На основании анализа картин опасности выявляются области помещения с наложенными зонами опасности, создаваемыми контролируемыми составляющими ЭМП.

6. Для областей помещения с отсутствием наложенных зон опасности полученные карты опасности используют для обоснования защитных мероприятий по контролируемым составляющим ЭМП с учетом их частотных диапазонов.

7. Для пространства помещения с наложением зон опасности определяют картины опасности в областях пересечения этих зон, учитывающие усиление результирующего действия ЭМИ при комплексном воздействии.

8. Полученные картины опасности с уточненными значениями допустимого времени пребывания в зонах комплексного воздействия ЭМИ используют для обоснования защитных мероприятий с учетом частотного диапазона каждой из контролируемых составляющих.

При наличии фоновых ЭМП, создаваемых, например, внешними источниками ЭМИ, проводят дополнительные измерения составляющих электромагнитного поля по периметру помещения (вдоль стен, окон, потолка, дверных проёмов), в трёхмерной модели помещения указываются сегменты стен и перекрытий в виде внешних источников ЭМИ. Измеренные данные используют в компьютерном моделировании электромагнитной обстановки для каждой составляющей ЭМП.

Сформирован набор функций, включаемых в базовый вариант технологического модуля. Эти функции позволяют исследовать такие конфигурации электромагнитной обстановки, которые наиболее часто представляют интерес на практике.

Для проведения измерений требуется весь перечень поддерживаемого оборудования, приведённый в таблице 3.10.

В качестве базового варианта ЭВМ, на которой разворачивается и запускается программное обеспечение технологического модуля, рассматривается нетбук марки DNS. Аппаратное обеспечение ЭВМ должно поддерживать запуск операционной системы Windows 7 или выше, а также иметь все средства для связи с измерительными приборами (на текущий момент это означает наличие Bluetooth-адаптера и встроенного COM-порта либо USB-адаптера для подключения COM-оборудования).

Измерения следует проводить на всём перечне граничных частот (0 Гц, 50 Гц, 30 кГц, 300 кГц, 3 МГц, 30 МГц, 300 МГц).

При оценке электромагнитной обстановки в помещении проводится также измерение геометрических размеров помещения и точные замеры положений всех источников электромагнитного поля в помещении. Все они размещаются на трёхмерной модели помещения. Все размеры на трёхмерной модели отмечаются с точностью, равной шагу пространственной сетки: 5 см.

Таблица 3.10 – Оборудование, входящее в состав технологического модуля

Диапазон частот, МГц	Контролируемые величины	Наименования приборов
Электростатическое поле	Е, кВ/м	ИПЭП-1
Постоянное магнитное поле	Н, А/м	МТМ-01
0,000048 - 0,000052 (48 - 52 Гц)	Е, кВ/м; Н, А/м	ВЕ-метр-АТ-004
0,01 - 50	Н, А/м	ПЗ-41 с антенной АП-5, ВЕ-метр-АТ-004
0,01 - 300	Е, В/м	ПЗ-41 с антенной АП-3, ВЕ-метр-АТ-004
3 - 2000	мощность сигнала, дБм	АКС-1201
300 - 40000	ППЭ, мкВт/см	ПЗ-41 с антенной АП-1

Техническая характеристика технологического модуля приведена в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Техническая характеристика технологического модуля

Вид характеристики	Значение характеристики
Виды измерительного оборудования	ИПЭП, МТМ-01, ПЗ-41, ВЕ-метр-АТ-004, АКС-1201
Контролируемый диапазон частот электрического поля	0 Гц (электростатическое поле и постоянное магнитное поле), 48 - 52 Гц, 10 кГц - 300 МГц
Контролируемый диапазон частот магнитного поля	48 - 52 Гц, 10 кГц - 50 МГц
Контролируемый диапазон частот плотности потока энергии	300 МГц - 40 ГГц
Электрическое питание	Встроенные аккумуляторы ноутбука и оборудования, возможно питание от бытовой электросети
Время автономной работы	От 2 ч в зависимости от ресурса аккумуляторов

Аппаратный блок базовой модификации технологического модуля представлен на рисунке 3.7.

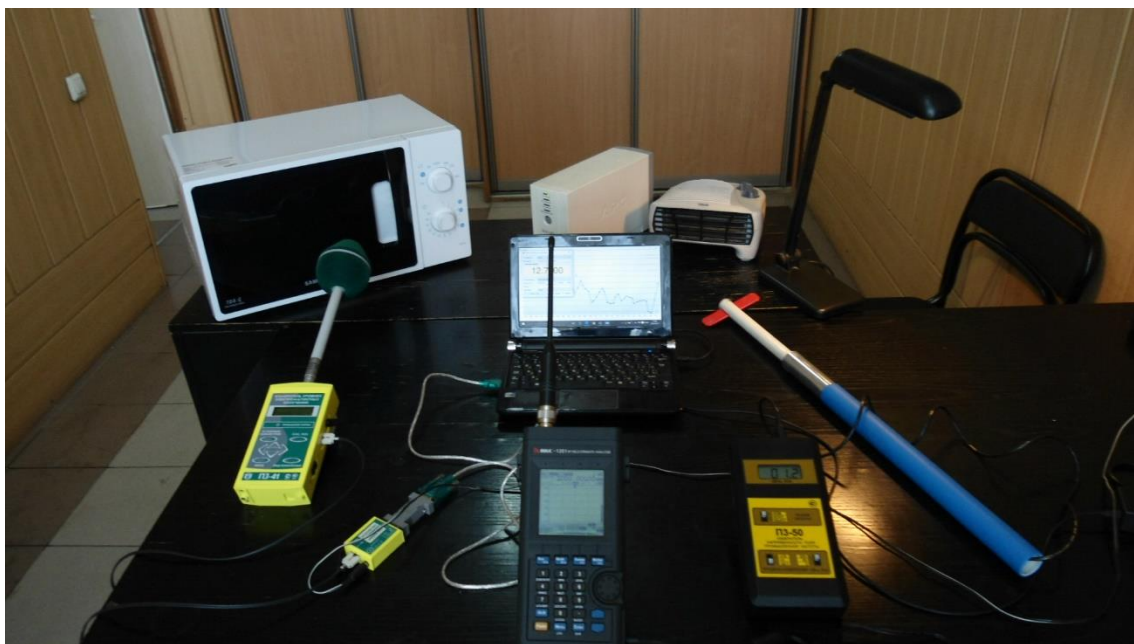


Рисунок 3.7 – Базовая модификация технологического модуля

Программное обеспечение базовой модификации технологического модуля включает следующий комплект программ, в том числе, разработанных в рамках настоящего проекта:

- программа связи с прибором ПЗ-41;
- управляющая программа измерительного оборудования;
- программа трёхмерного моделирования AppCSXCAD [37];
- программа для объединения трёхмерной модели и экспериментальных данных;
- программа, использующая открытую стороннюю библиотеку OpenEMS [38] для проведения моделирования электромагнитного поля;
- программа статистического анализа результатов моделирования;
- программа для построения точечных и цилиндрических картин опасности.

Все программы (за исключением первой по списку) разработаны нами для использования в составе технологического модуля.

Практические задания

1. Изучить особенности современной концепции исследования электромагнитной обстановки.
2. Изучить методику интегрированного контроля ЭМИ.
3. Изучить аппаратуру и методику измерения электростатического поля.
4. Изучить аппаратуру и методику измерения постоянного магнитного поля.
5. Изучить аппаратуру и методику измерения электрического поля промышленной частоты.
6. Изучить аппаратуру и методику измерения магнитного поля частотой 50 Гц.
7. Изучить аппаратуру и методику измерения электрических полей в частотном диапазоне 30 кГц - 3000 кГц.
8. Изучить аппаратуру и методику измерения магнитных полей в частотном диапазоне 30 кГц - 30 МГц.
9. Изучить аппаратуру и методику измерения электромагнитных полей в частотном диапазоне 30 кГц - 30 МГц.
10. Изучить аппаратуру и методику измерения электрических полей в частотном диапазоне 3 МГц - 3 ГГц.
11. Изучить аппаратуру и методику измерения магнитных полей в частотном диапазоне 30 МГц - 3 ГГц.

12. Изучить аппаратуру и методику измерения электромагнитных полей в частотном диапазоне 30 МГц – 3 ГГц.
13. Изучить аппаратуру и методику измерения электрических полей в частотном диапазоне 3 ГГц - 3 ТГц.
14. Изучить аппаратуру и методику измерения магнитных полей в частотном диапазоне 30 ГГц – 3 ТГц.
15. Изучить аппаратуру и методику измерения электромагнитных полей в частотном диапазоне 3 ГГц – 3 ТГц.
16. Изучить аппаратуру и методику измерения электрических полей ОНЧ.
17. Изучить аппаратуру и методику измерения магнитных полей ВЧ.
18. Изучить аппаратуру и методику измерения электромагнитных полей СВЧ.
19. Изучить аппаратуру и методику измерения электрических полей НЧ.
20. Изучить аппаратуру и методику измерения магнитных полей СЧ.
21. Изучить аппаратуру и методику измерения электромагнитных полей ГВЧ.
22. Изучить аппаратуру и методику проведения спектрального анализа электромагнитной обстановки.
23. Изучить программное обеспечение базовой модификации аппаратно-программного комплекса для контроля электромагнитных излучений.

Контрольные вопросы

1. Что такое поле?
2. Как вы можете охарактеризовать электромагнитное поле?
3. Что понимается под электромагнитными волнами?
4. Что такое электромагнитное воздействие?
5. Каковы свойства электромагнитного излучения?
6. Дайте определение электромагнитной обстановки.
7. Что такое изолированная электромагнитная обстановка?
8. Что представляет собой экран?
9. В чём заключается электромагнитный мониторинг?
10. Укажите цели электромагнитного мониторинга.
11. Объясните задачи электромагнитного мониторинга.
12. Назовите параметры ЭМП, измеряемые при санитарно-гигиеническом контроле.
13. Объясните способы измерения параметров электрических полей частотой 50 Гц и менее.
14. Перечислите способы измерения параметров электромагнитного поля на частоте выше 50 Гц.
15. Какая аппаратура, рекомендуется для интегрированного контроля ЭМИ?
16. Расскажите методику измерения уровней электростатических полей с помощью прибора ИПЭП-1.
17. Назовите основные характеристики прибора ИПЭП-1.
18. Опишите методику измерения уровней электрических полей промышленной частоты с помощью прибора ВЕ-метр-АТ-004.
19. Расскажите методику измерения уровней магнитных полей промышленной частоты с помощью прибора ВЕ-метр-АТ-004.
20. Назовите основные характеристики прибора ВЕ-метр-АТ-004.
21. Расскажите методику измерения уровней электрических полей радиочастотного диапазона с помощью прибора ПЗ-41.
22. Опишите методику измерения уровней электромагнитных полей с помощью прибора ПЗ-41.
23. Назовите основные характеристики прибора ПЗ-41.

24. Объясните методику измерения постоянного магнитного поля с помощью прибора МТМ-01.
25. Назовите основные характеристики прибора МТМ-01.
26. Объясните принцип работы анализатора электромагнитного поля АКС-1201.
27. Назовите основные характеристики прибора АКС-1201.
28. Расскажите методику измерения уровней электромагнитных полей с помощью прибора ИПП-2
29. Назовите основные характеристики прибора ИПП-2
30. Какой комплект программ включает в себя программное обеспечение базовой модификации технологического модуля?

4 Обеспечение безопасности технологических процессов с использованием электромагнитных полей

4.1 Защита от электромагнитных излучений

Экранированием называется локализация электромагнитного поля в определенном пространстве путем ограничения его распространения различными способами.

Электромагнитный экран – конструкция, предназначенная для ослабления электромагнитных полей, создаваемых какими-либо источниками в некоторой области пространства, не содержащей этих источников.

Способы экранирования зависят от особенностей экранируемого электромагнитного поля.

В зависимости от типа создаваемого поля различают следующие виды экранирования [33-35]:

- экранирование электрических полей:
 - экранирование электростатического поля;
 - экранирование переменного электрического поля;
- экранирование магнитных полей:
 - экранирование магнитостатического поля;
 - экранирование переменного магнитного поля;
- экранирование электромагнитного поля.

Электростатическое экранирование по существу сводится к замыканию электростатического поля на поверхность металлического экрана и отводу электрических зарядов на землю (на корпус прибора). Заземление электростатического экрана является необходимым элементом при реализации электростатического экранирования. Контур заземления должен иметь сопротивление не более 4 Ом.

Электрическое поле можно экранировать и с помощью диэлектрических экранов, имеющих высокую относительную диэлектрическую проницаемость ϵ .

Экранирование переменных электрических полей, как и электростатических, происходит за счет перераспределения зарядов. Однако, если в электростатическом поле коэффициент затухания бесконечно велик, то в переменном электрическом поле с ростом частоты появляется фазовый сдвиг, который обуславливает конечное значение коэффициента затухания. Этот эффект становится заметным при весьма высоких частотах.

Магнитостатическое экранирование основано на замыкании экраном, обладающим высокой магнитопроводностью, магнитного поля.

Постоянные магнитные поля шунтируются экраном за счет направленности силовых линий вдоль стенок экрана. Этот эффект вызывается большей магнитной проницаемостью материала экрана по сравнению с воздухом.

Переменное магнитное поле вызывает возникновение в экране переменных

индукционных вихревых токов, которые препятствуют распространению побочного магнитного поля. Поглощающая способность экрана зависит от частоты побочного излучения и от материала, из которого изготавливается экран. Чем ниже частота излучения, тем большей должна быть толщина экрана.

Заземление не влияет на экранирование магнитных полей.

Электромагнитные излучения блокируются методами экранирования переменных электрического и магнитного полей.

Экранирование осуществляется на пяти уровнях:

- уровень элементов схем;
- уровень блоков;
- уровень устройств;
- уровень кабельных линий;
- уровень помещений.

Защита организма человека от действия электромагнитных излучений подразумевает снижение их интенсивности до уровней, никак не превышающих предельно допустимые. Выбор определенных методов и средств с учетом их экономических показателей особенностей эксплуатации обеспечивает защиту.

Организация защиты должна подразумевать: оценку уровней интенсивности излучений на рабочих местах и их сопоставление с действующими нормативными документами; выбор необходимых мер и средств, которые обеспечивают степень защиты в заданных условиях; организацию системы контролирования над функционирующей защитой.

По своему назначению защита может быть коллективной и индивидуальной. В основе каждого вида защиты лежат организационные и инженерно-технические мероприятия [33].

Анализ [33-35] показывает, что общую структуру мер защиты от воздействия электромагнитных излучений можно представить в виде таблицы 4.1.

Среди экранирующих строительных материалов согласно наибольшим сквозным затуханием обладают металлизированный стеклянный кирпич, строительный кирпич, бетон, металлизированное стекло, шлакобетонная стена, древесностружечная плита т.д. Поэтому при строительстве или реконструкции помещений рекомендуется использовать подобные материалы для снижения уровня электромагнитных излучений внутри зданий [33].

К отражающим электромагнитную волну (ЭМВ) материалам относятся различные металлы и их сплавы. Чаще всего используются железо, сталь, медь, латунь, алюминий. Металлические экраны технологически выполняются в виде сплошных и перфорированных листов, сеток, решеток, трубок и могут быть нанесены в виде тонкопленочных покрытий. Для экранирования ЭМП за счет отражения ЭМВ применяются также такие материалы, как углеродные волокна, проводящие полимеры, металлизированные ткани, специальные отражающие краски и т.д. [35].

Защита поглощающими материалами обеспечивается использованием ферритов, ферромагнитных материалов и диэлектриков. Согласно среди поглощающих материалов, используемых для создания средств защиты от электромагнитных излучений, следует выделить резиновые коврики В2Ф2, В2Ф3, ВКФ-1 с коэффициентами отражения 2%; магнитодиэлектрические пластины типа ХВ с коэффициентами отражения 2%; поглощающие материалы на основе поролона и древесины с коэффициентами отражения соответственно 2 и 3%; хлопчатобумажные, льняные и синтетические ткани, изготовленные с помощью различных технологических приемов и на основе разных активных элементов; ферритовые и пенные радиопоглощающие материалы; напыляемые магнитодиэлектрические материалы на основе кремнийорганического связующего и магнитного наполнителя; специальный электропроводящий картон и т.д. [33].

Таблица 4.1 – Структура мер защиты от действия ЭМИ

Меры защиты	Коллективная защита	Индивидуальная защита
1	2	3
Организационные меры защиты	Лечебно-профилактические мероприятия	
	применение средств наглядного предупреждения о наличии ЭМП	проведение медицинского освидетельствования
	проведение лекций по технике безопасности труда при работе с источниками ЭМП и основам профилактики переоблучений от их воздействия	объективная информация о степени интенсивности ЭМП на рабочем месте и четкое представление об их возможном влиянии на состояние здоровья
	снижение уровня воздействия сопутствующих производственных факторов	проведение инструктажа по правилам техники безопасности при работе с источниками ЭМП
	Мероприятия по защите «временем»	
	разработка оптимального режима труда и отдыха коллектива с организацией рабочего времени с минимально возможным контактом по времени с ЭМП	нахождение в контакте с ЭМП только по необходимости с четкой регламентацией по времени и пространству совершаемых действий
	Мероприятия по защите за счет рационального размещения объектов	
	рациональное размещение всех облучающих и облучаемых объектов: увеличение расстояний между ними, подъем антенн или диаграмм направленности и т.д.	организация рабочего места с целью создания условий с минимально возможными уровнями воздействующих ЭМП
Инженерно-технические меры защиты	Мероприятия по защите от электрического поля (ЭП)	
	применение экранирующих приспособлений: навесы, козырьки	применение специальной одежды с токопроводящей тканью: комбинезоны, перчатки, рукавицы, обувь с токопроводящей подошвой, каски, шапки
	использование заземляющих устройств	использование индивидуального заземления
	организация специальных стационарных экранирующих ограждений	использование индивидуальных съемных экранов

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3
Инженерно-технические меры защиты	Мероприятия по защите от магнитного поля (МП)	
	хранение и транспортировка магнитных изделий только в приспособлениях и устройствах, полностью либо частично замыкающих МП	использование дополнительных инструментов, манипуляторов индивидуального пользования с дистанционным принципом действия
	применение замкнутых экранов из магнитомягких материалов	применение блокирующих устройств, позволяющих отключать аппаратуру, генерирующую МП, в случае попадания различных участков тела в зону индукции сильных МП
	Мероприятия по защите от электромагнитного поля (ЭМП)	
	секторное блокирование направлений излучений	экранирование отдельных рабочих мест радиоотражающими или радиопоглощающими материалами
	экранирование зон облучения радиоотражающими, радиопоглощающими, строительными материалами	применение индивидуальных средств тотальной защиты в комплекте со средствами локальной защиты: костюмы, комбинезоны
	экранирование источников ЭМИ поглощающими нагрузками, поглотителями мощности	применение индивидуальных средств локальной защиты: радиозащитные халаты, перчатки, шлемы, очки и т.д.

Индивидуальные средства защиты предусмотрены для предотвращения воздействия на организм человека ЭМИ с уровнями, превышающими ПДУ, когда применение иных средств невозможно или нецелесообразно. Согласно обобщенные сведения об индивидуальных средствах защиты от действия ЭМИ можно представить в виде таблицы 4.2.

Таблица 4.2 – Индивидуальные средства защиты от действия ЭМИ

Средства защиты	Электростатическое поле	Электромагнитное поле промышленной частоты	Электромагнитное поле радиочастотного диапазона
Одежда	Антистатические халаты	Костюмы, комбинезоны из тканевого волокна в сочетании с проводящим экранирующим слоем	Радиозащитные халаты, костюмы, комбинезоны и другая форма одежды из металлизированной ткани
Обувь	Антистатическая обувь	Ботинки, полуботинки токопроводящие; сапоги, полусапоги, галоши резиновые повышенной электропроводимости	Бахилы из металлизированной ткани
Средства защиты рук	Заземляющие браслеты	Рукавицы, перчатки из электропроводящей ткани	Рукавицы, перчатки из металлизированной ткани
Средства защиты головы, лица, глаз	Шлемы, капюшоны, маски, соединенные с землей	Металлические либо пластмассовые металлизированные каски; шапки с прокладкой из токопроводящей ткани	Очки защитные; шлемы, капюшоны, маски из радиоотражающих материалов

В связи с развитием технологии получения композиционных материалов разработаны материалы, обладающие как высокой эффективностью экранирования, так и большим значением коэффициента поглощения ЭМВ. Среди этих материалов можно выделить новые защитные краски, покрытия из которых способны надежно защищать от неблагоприятного воздействия электромагнитных излучений в широком диапазоне частот от нескольких герц до десятков гигагерц. Излучение на низких частотах, в основном, отражается, а на высоких и сверхвысоких частотах – большая часть его поглощается.

Для защиты от ЭМИ рекомендуется использовать экранирующие ткани с высокой отражательной способностью. Они обеспечивают экранирование электромагнитных излучений в широком диапазоне частот с защитным эффектом свыше 99,99%. Металлические свойства электропроводящих тканей позволяют применять их также для снятия статического электричества [34].

При наличии картины электромагнитной опасности можно обоснованно выбирать защитные мероприятия в соответствии с материальными, техническими и организационными возможностями.

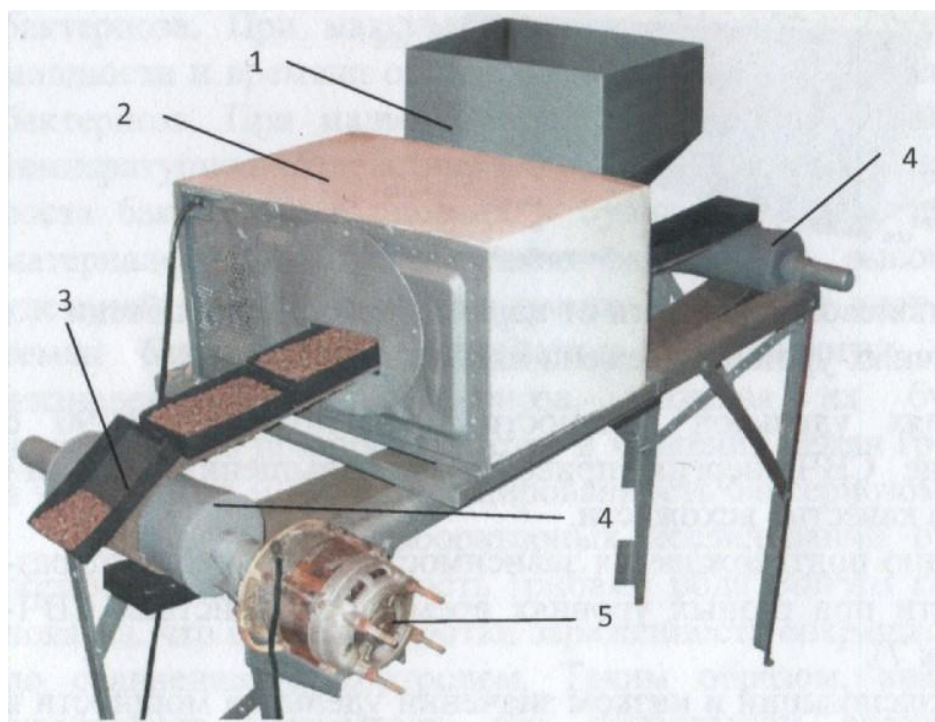
Для рассматриваемого помещения в первую очередь может быть предложено:

- ограничение времени пребывания на рабочем месте в соответствии с допустимыми значениями для различных зон помещения;
- перемещение рабочих мест на расстояние не менее 1 м от наиболее опасных источников ЭМИ.

При необходимости могут применяться и более сложные мероприятия, в частности, экранирование источников опасного ЭМИ или применение индивидуальных средств защиты.

4.2 Обеспечение электромагнитной безопасности процесса обработки семян в сверхвысокочастотном поле

Реализация предложенного способа контроля опасности электромагнитного излучения на практике рассмотрена на примере технологического процесса предпосевной обработки семян в электромагнитном поле сверхвысокой частоты (СВЧ) на установке конвейерного типа. На рисунке 4.1 представлена похожая установка для исследования влияния режимных параметров поля на качественные показатели семян гречихи. Разработали ее в Красноярском государственном аграрном университете [36].



1 – бункер; 2 – СВЧ-камера;
3 – транспортная лента с ячейками;
4 – барабан; 5 – электродвигатель

Рисунок 4.1 – Установка для обработки семян в СВЧ-поле

Этот аппарат выполнен на базе домашней микроволновой печи с инвертором частотой 2450 МГц и потребляемой мощностью 1,0 кВт.

Принцип работы данной СВЧ-установки основан на следующем:

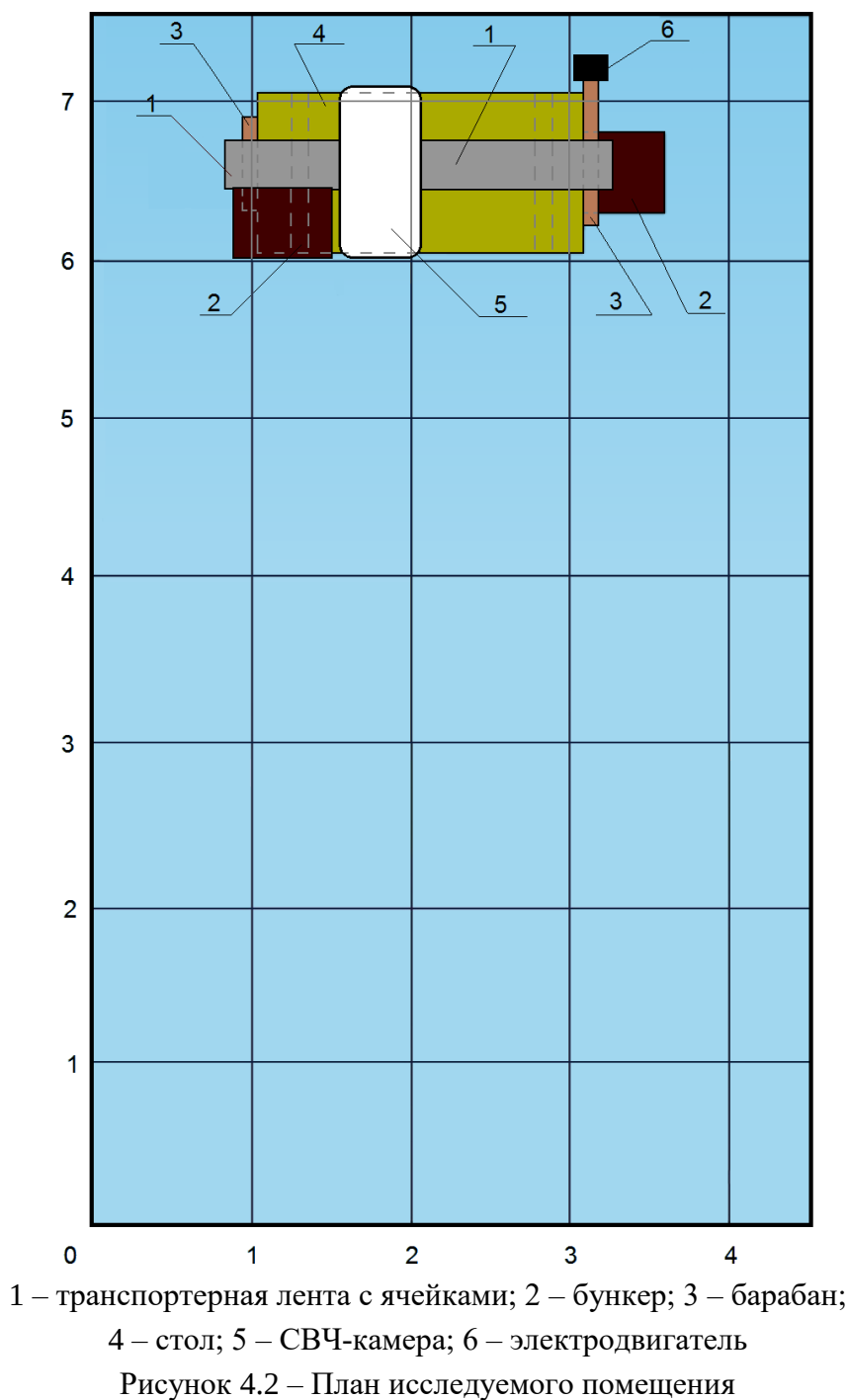
- предварительно увлажненные семена из загрузочного бункера попадают на конвейерную ленту, где они равномерно распределяются по высоте бортиков ячеек, и затем поступают в рабочую камеру для обработки;
- конвейерная лента с семенами проходит через барабан, на котором установлен вибратор, помогающий наиболее эффективно удалить семена из ячеек, переворачивается и высыпает обработанное зерно в бункер выгрузки.

В результате проведенной обработки увеличивается полевая всхожесть семян гречихи на 10% при экспозиции 30 с, на 78-100% снижается зараженность при экспозиции до 90 с, а также уменьшается количество мелких семян и количество семян с молочной степенью зрелости на 20,8 и 31% соответственно [36].

Для оценки степени опасности уровней электромагнитных излучений схожих установок в АлтГТУ создана подобная установка на основе микроволновой печи «Dialog» с инвертором частотой 2450 МГц и потребляемой мощностью 900 Вт.

План исследуемого помещения с размерами 7,5×4,6×2,9 м приведен на рисунке 4.2 (шаг координатной сетки – 1 м).

Экспериментальные исследования электрического, магнитного и электромагнитного полей на расстоянии меньше 0,5 м от исследуемой установки невозможны из-за ограниченного диапазона применяемой аппаратуры ПЗ-50 и ПЗ-41, вызванной неоднократным превышением предельно допустимых уровней (ПДУ). Поэтому, измерения уровней напряженности электрического, магнитного полей и плотности потока энергии (ППЭ) производились на расстояниях от 0,5 м до 2 м от передней стенки СВЧ-камеры на частотах: 50 Гц, 30 кГц, 3 МГц, 30 МГц, 50 МГц, 300 МГц и 2450 МГц [5] с помощью приборов ПЗ-50, ПЗ-41. Результаты измерений приведены в таблицах 4.3, 4.4 (выделены значения, превышающие ПДУ).



В результате проведенных исследований (таблица 4.3), уровень напряженности электрического поля на расстоянии 0,5 м превышает ПДУ электрического поля на частотах: 50 Гц, 0,03 МГц, 3 МГц, 30 МГц и 50 МГц, соответственно: в 36, 42, 33, 35 и 46 раз. Уровень ППЭ электромагнитного СВЧ-поля на расстоянии 0,5 м превышает ПДУ на частотах: 300 МГц, 2450 МГц, соответственно: в 46 и 48 раз. Безопасные уровни переменного электрического и сверхвысокочастотного электромагнитного полей достигаются на расстоянии более 2 м.

Таблица 4.3 – Результаты измерений напряженности электрического поля и плотности потока энергии на расстояниях от 0,5 м до 2 м от передней стенки СВЧ-камеры

Расстояние между измерительным преобразователем и передней стенкой СВЧ-камеры, м	Напряженность электрического поля, В/м					Плотность потока энергии, мкВт/см ²	
	Измерительные приборы / измерительные преобразователи						
	ПЗ-50/ АП ЕЗ-50	ПЗ-41/ АП-3	ПЗ-41/ АП-3	ПЗ-41/ АП-3	ПЗ-41/ АП-3	ПЗ-41/ АП-1	ПЗ-41/ АП-1
	Контролируемая частота						
	50 Гц	0,03 МГц	3 МГц	30 МГц	50 МГц	300 МГц	2450 МГц
0,5	более 180000	1054,24	более 500	349,22	138,41	464,21	483,61
1,0	177000	723,45	388,07	339,09	116,24	205,34	343,82
1,5	17510	645,51	337,15	232,75	80,55	86,42	73,58
2,0	15340	599,02	310,83	212,80	73,89	54,32	52,81
	Максимальное фоновое значение на расстоянии 0,1 м от установки						
	38	5,07	2,68	1,92	1,90	0	0
	Предельно допустимый уровень						
	5000	25	15	10	3	10	10

Уровень напряженности магнитного поля (таблица 4.4), на расстоянии 0,5 м превышает ПДУ на частотах 50 Гц и 50 МГц более чем в 3 и в 2 раза соответственно. При отсутствии средств защиты безопасные уровни магнитного поля достигаются на расстоянии более 1 м.

В электромагнитном поле РЧ-диапазона наиболее опасным по уровню ЭМИ является электромагнитное поле частотой 2450 МГц. Это видно по результатам сопоставления допустимого времени пребывания человека в электрическом и магнитном полях промышленной частоты.

Измеренные значения плотности потока энергии электромагнитного поля частотой 2450 МГц используются в компьютерном моделировании электромагнитных излучений, которое проводится в среде COMSOL Multiphysics [32].

Программируемая среда COMSOL Multiphysics, проведя численный расчет электромагнитной обстановки, дает возможность получить пространственную картину распределения плотности потока энергии электромагнитного поля с частотой 2450 МГц в помещении с исследуемой СВЧ-установкой [36].

Таблица 4.4 – Результаты измерений напряженности магнитного поля на расстояниях от 0,5 м до 2 м от передней стенки СВЧ-камеры

Расстояние между измерительным преобразователем и передней стенкой СВЧ-камеры, м	Напряженность магнитного поля, А/м				
	Измерительные приборы / измерительные преобразователи				
	ПЗ-50/ АП НЗ-50	ПЗ-41/ АП-5	ПЗ-41/ АП-5	ПЗ-41/ АП-5	ПЗ-41/ АП-5
	Контролируемая частота				
	50 Гц	0,03 МГц	3 МГц	30 МГц	50 МГц
0,5	244,50	12,97	9,77	2,8542	5,8535
1,0	110,28	2,53	2,49	2,8271	3,2301
1,5	18,50	2,06	2,34	2,7838	2,9433
2,0	1,90	2,08	1,62	2,7649	2,7332
	Максимальное фоновое значение на расстоянии 0,1 м от установки				
	0	0	0	0	0
	Предельно допустимый уровень				
	80	50	50	3	3

Полученная трехмерная картина распределения плотности потока энергии электромагнитного поля частотой 2450 МГц представлена на рисунке 4.3 (шаг координатной сетки – 1 м; цветовой шкалой показаны уровни электромагнитного поля).

Анализ картины показывает, что на частоте 2450 МГц в радиусе 3 мППЭ электромагнитного поля в несколько раз превышает ПДУ. Самыми опасными частями СВЧ-камеры являются места стыков внешних поверхностей, а также зона расположения магнетрона. В частности, на расстоянии 2 м от передней стенки СВЧ-камерыППЭ достигает 70 мкВт/см², что превышает ПДУ более, чем в 6 раз [5].

Результат преобразования модели распределенияППЭ электромагнитного СВЧ-поля в картину опасности электромагнитного излучения по критерию допустимого времени представлен на рисунке 4.4. На этой картине показаны зоны допустимого времени пребывания людей при работе СВЧ-установки в виде изоповерхностей, окрашенных в различные цвета в зависимости от числового значения допустимого времени.

Исходя из картины опасности приближение на расстояние менее 0,5 м к СВЧ-камере запрещено. В зоне от 0,5 м до 1,5 м время пребывания человека не должно превышать 8 мин, а в зоне от 1,5 м до 3 м – 20 мин. На расстоянии более 3 м можно находиться в течение всей 8 часовой рабочей смены.

Таким образом, работа с СВЧ-установкой без применения защитных мероприятия должна быть запрещена.

Для защиты от электромагнитных излучений в рассматриваемом случае применяются организационные и инженерно-технические мероприятия.

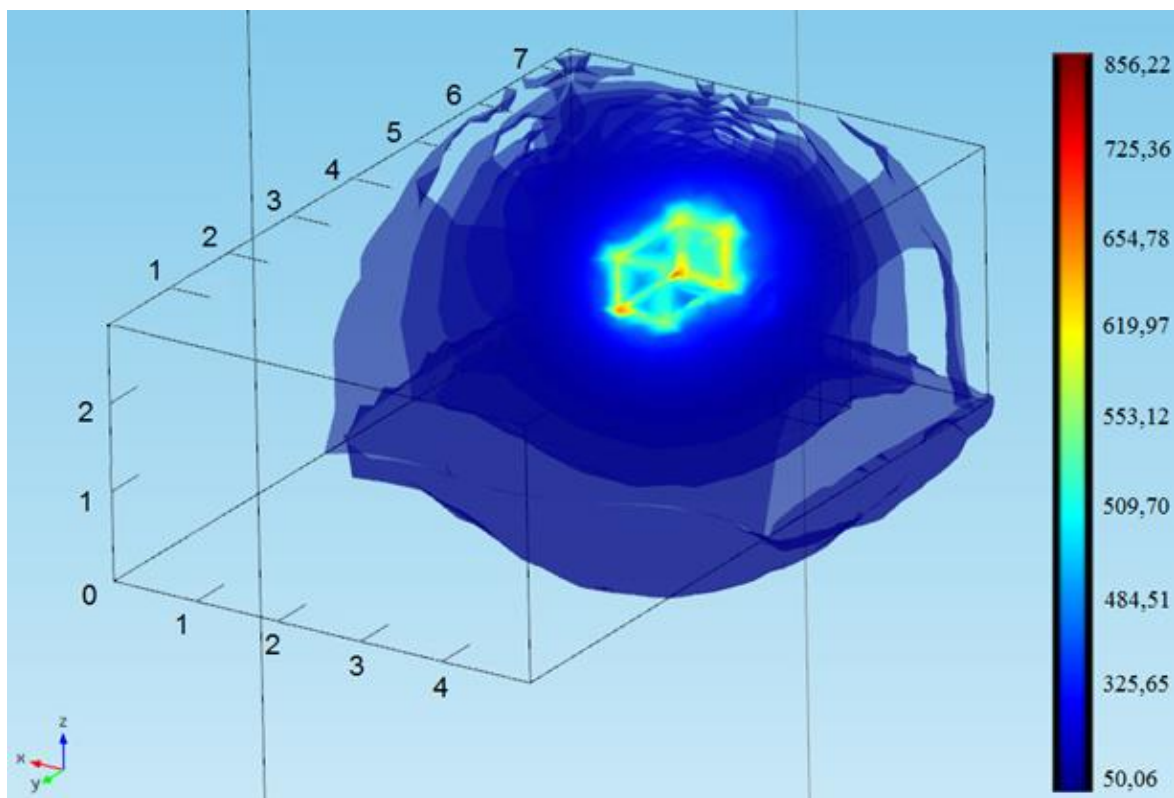


Рисунок 4.3 – Трехмерная модель распределения ППЭ электромагнитного СВЧ-поля в контролируемом помещении

Организационные мероприятия:

- ограничение продолжительности времени пребывания рядом с установкой;
- удаление от СВЧ-камеры на расстояние, обеспечивающее электромагнитную безопасность.

Из инженерно-технических мероприятий можно рассматривать использование:

- защитного экранирования;
- инструментов, манипуляторов индивидуального пользования с дистанционным управлением;
- защитной одежды.

В качестве основного защитного мероприятия в данном случае может быть предложен вариант экранирования.

Степень снижения уровня электромагнитных РЧ- и в том числе СВЧ-полей за счет экранирования в зависимости от применяемых защитных материалов характеризует таблица 4.5 [33, 34].

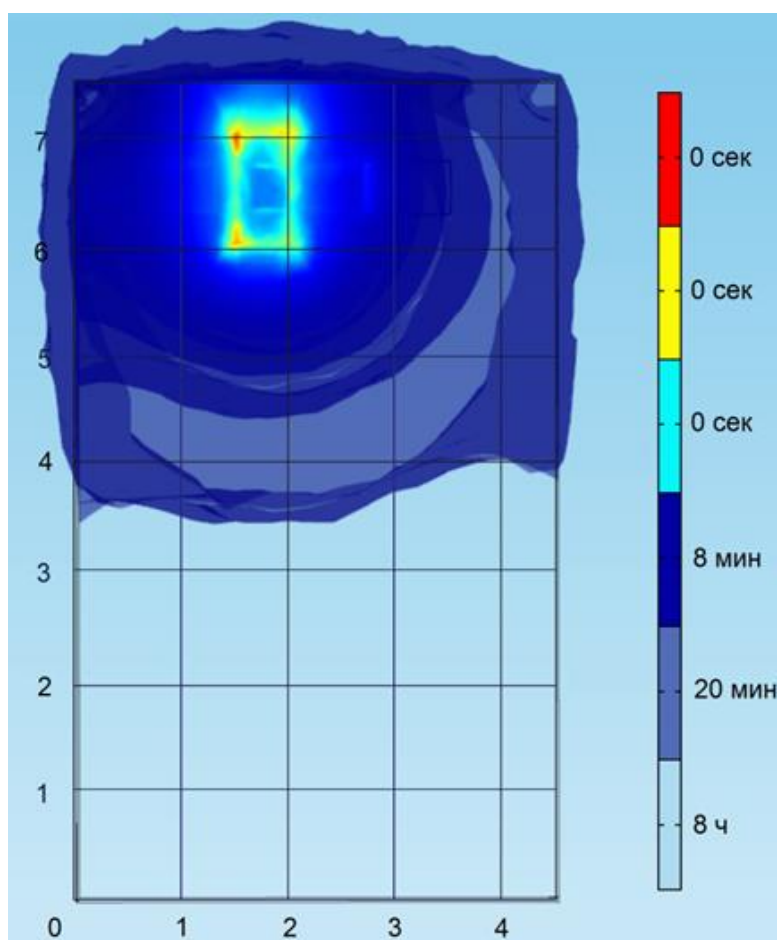


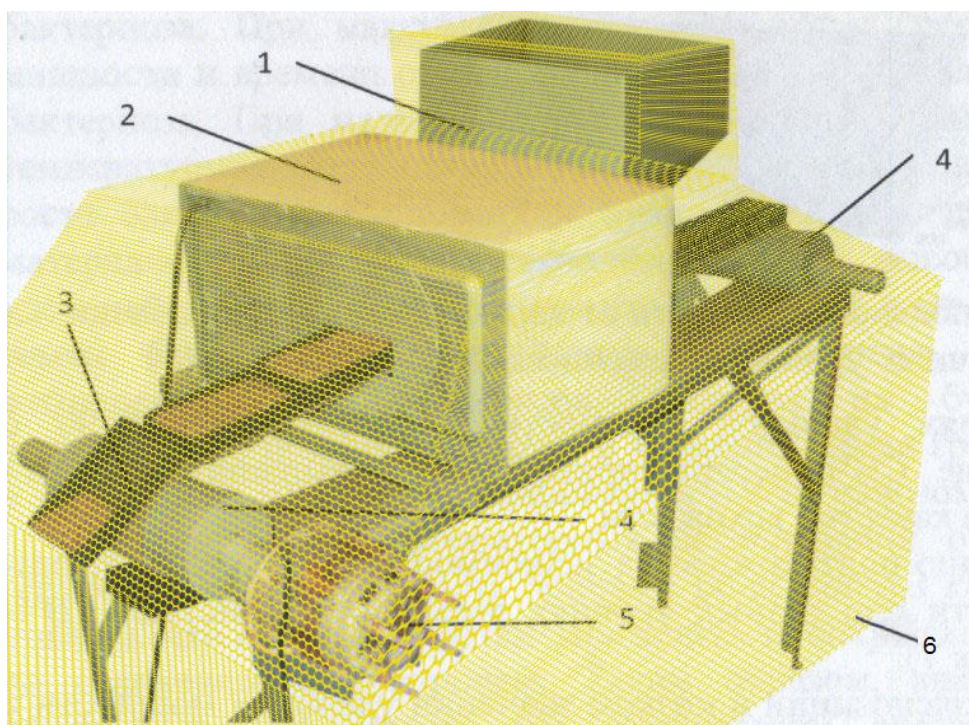
Рисунок 4.4 – Картина опасности электромагнитного излучения

Таблица 4.5 – Коэффициент экранирования полей высоких частот металлическими листами и сетками

Вид экрана	Материал экрана	Частота				
		10 кГц	100 кГц	1 МГц	10 МГц	1 ГГц
Металлические листы толщиной 0,5 мм	Сталь	$2,5 \times 10^6$	5×10^8	10^{12}	10^{12}	10^{12}
	Медь	5×10^6	10^7	6×10^8	10^{12}	10^{12}
	Алюминий	3×10^6	4×10^6	10^{12}	10^{12}	10^{12}
Металлические сетки	Медь, проволока 0,1 мм ячейки 1×1 мм	$3,5 \times 10^6$	$3,5 \times 10^5$	10^5	$1,5 \times 10^4$	$1,5 \times 10^3$
	Медь, проволока 1 мм ячейки 10×10 мм	10^6	10^5	$1,5 \times 10^4$	$1,5 \times 10^3$	$1,5 \times 10^2$
Металлические сетки	Сталь, проволока 0,1 мм ячейки 1×1 мм	6×10^4	5×10^4	$1,5 \times 10^4$	4×10^3	9×10^2
	Сталь, проволока 1 мм ячейки 10×10 мм	2×10^5	5×10^4	2×10^4	$1,5 \times 10^3$	$1,5 \times 10^2$

Возьмем вариант использования латунной сетки из проволоки диаметром 0,1 мм с шагом ячеек 1 мм, соединенной с контуром заземления. Сетка устанавливается на расстоянии 0,1 м от элементов установки, таким образом, чтобы не был нарушен технологический процесс (рисунок 4.5).

В таблицах 4.6, 4.7 приведены результаты измерений уровней переменных электрического, магнитного и электромагнитного полей в условиях экранирования.



1 – бункер; 2 – СВЧ-камера; 3 – транспортерная лента с ячейками;
4 – барабан; 5 – электродвигатель; 6 – защитная сетка

Рисунок 4.5 – Экранирование СВЧ-установки с помощью защитной сетки

Таблица 4.6 – Результаты измерений напряженности электрического поля и плотности потока энергии на расстояниях от 0,5 м до 2 м от передней стенки СВЧ-камеры в условиях экранирования

Расстояние между измерительным преобразователем и передней стенкой СВЧ-камеры, м	Напряженность электрического поля, В/м					Плотность потока энергии, мкВт/см ²	
	Измерительные приборы / измерительные преобразователи						
	ПЗ-50/ АП ЕЗ-50	ПЗ-41/ АП-3	ПЗ-41/ АП-3	ПЗ-41/ АП-3	ПЗ-41/ АП-3	ПЗ-41/ АП-1	ПЗ-41/ АП-1
	Контролируемая частота						
	50 Гц	0,03 МГц	3 МГц	30 МГц	50 МГц	300 МГц	2450 МГц
0,5	615	26,50	10,74	16,39	5,12	17,34	17,67
1,0	308	20,47	6,88	8,25	2,71	9,54	7,68
1,5	195	15,64	5,04	6,73	1,75	4,73	6,55
2,0	130	13,31	3,78	5,31	1,38	4,15	5,12
	Максимальное фоновое значение на расстоянии 0,1 м от установки						
	0,038	10,07	2,68	1,92	1,9	0	0
	Предельно допустимый уровень						
	5000	25	15	10	3	10	10

Таблица 4.7 – Результаты измерений напряженности магнитного поля на расстояниях от 0,5 м до 1 м от передней стенки СВЧ-камеры в условиях экранирования

Расстояние между измерительным преобразователем и передней стенкой СВЧ-камеры, м	Напряженность магнитного поля, А/м				
	Измерительные приборы / измерительные преобразователи				
	ПЗ-50/ АП НЗ-50	ПЗ-41/ АП-5	ПЗ-41/ АП-5	ПЗ-41/ АП-5	ПЗ-41/ АП-5
	Контролируемая частота				
	50 Гц	0,03 МГц	3 МГц	30 МГц	50 МГц
0,5	69,25	3,34	2,75	2,1781	2,1854
1,0	35,91	0,4692	0,374	1,0550	1,0589
	Максимальное фоновое значение на расстоянии 0,1 м от установки				
	0	0	0	0	0
	Предельно допустимый уровень				
	80	50	50	3	3

На расстоянии более 0,5 м уровни переменного электрического и электромагнитного полей не превышают ПДУ. На расстоянии 0,5 м ПДУ напряженности электрического поля на частотах 0,03 МГц, 30 МГц и 50 МГц превышен соответственно в 1,1, 1,6 и 1,7 раза, а ППЭ электромагнитного поля на частотах: 300 МГц, 2450 МГц в 1,7 раза.

Уровни напряженности магнитного поля на расстоянии 0,5 м не превышают установленные нормы на всем исследуемом частотном диапазоне [5-15].

На рисунке 4.6 приведена трехмерная картина распределения ППЭ электромагнитного поля частотой 2450 МГц при наличии экранирования, а на рисунке 4.7 – соответствующая картина опасности ЭМИ.

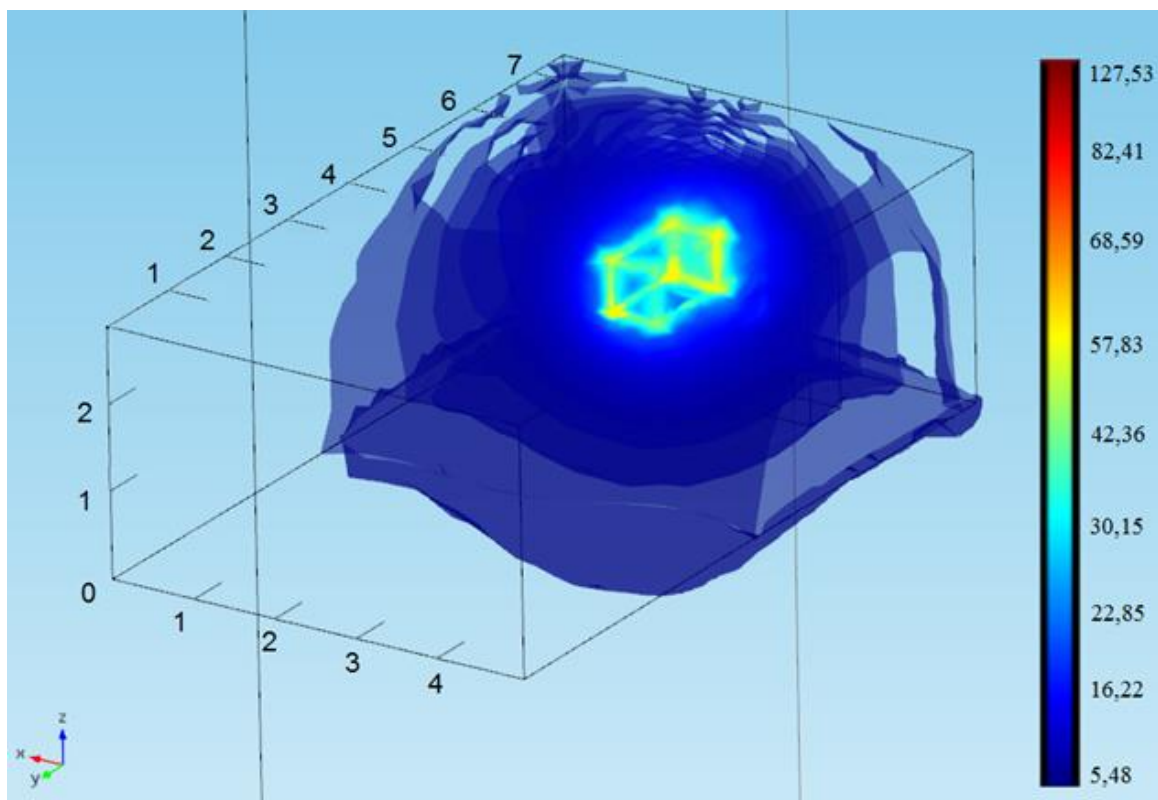


Рисунок 4.6 – Трехмерная модель распределения ППЭ электромагнитного СВЧ-поля в контролируемом помещении при наличии экранирования

В соответствии с картиной опасности электромагнитного излучения (рисунок 4.7) время пребывания человека в зоне от 0,5 м до 4 м от установки допускается до 10 ч, а на расстоянии более 4 м – в течение 24 ч.

В условиях экранирования безопасное время пребывания человека в зоне 1,5 м увеличено в 75 раз, в зоне от 1,5 м до 3 м – в 30 раз.

Если это необходимо, то могут быть использованы дополнительные мероприятия, которые позволят увеличить допустимое время пребывания возле установки.

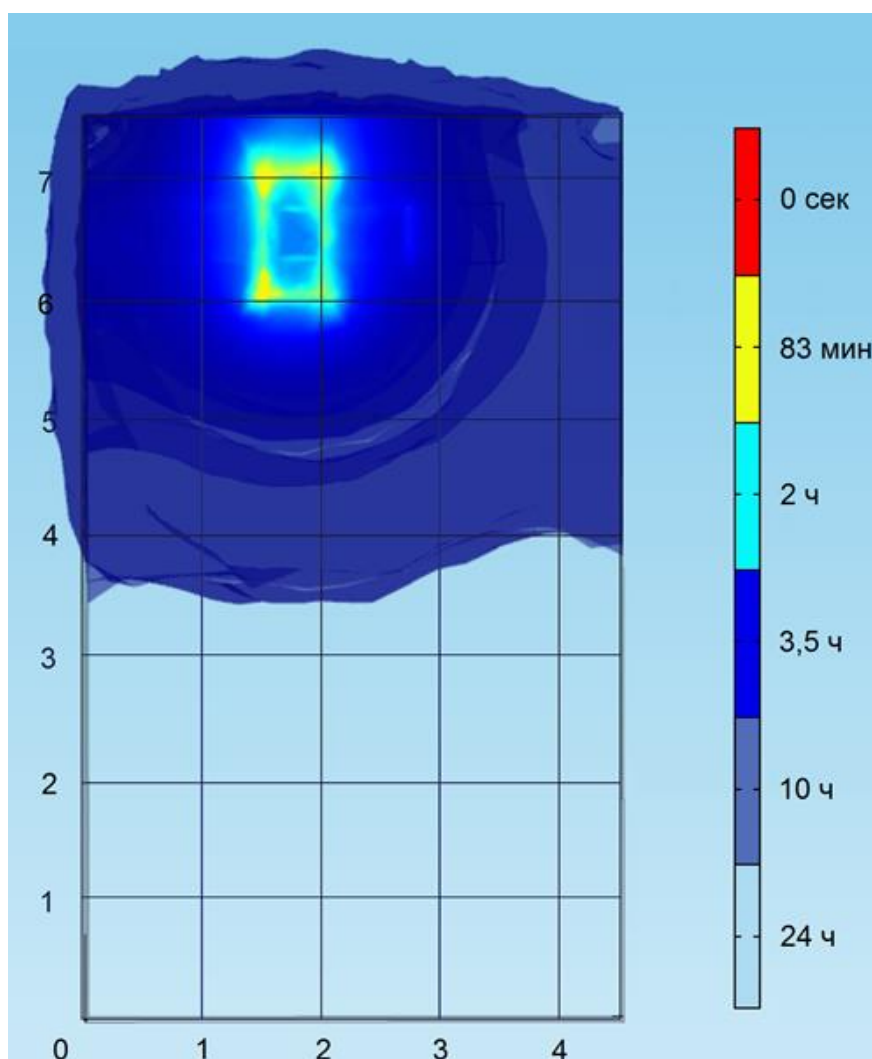


Рисунок 4.7 – Картина опасности электромагнитного излучения

Таким образом, пространственная картина опасности электромагнитных излучений, полученная в результате использования предложенного способа интегрированного контроля электромагнитной обстановки, позволяет обоснованно выбирать эффективные мероприятия по обеспечению безопасного пребывания на рабочих местах, улучшению и оздоровлению условий труда.

Выбор высокоэффективного экрана может быть выполнен по результатам мониторинга электромагнитной обстановки в соответствии с алгоритмом, включающим следующие основные этапы.

1. По результатам мониторинга электромагнитной обстановки определяются напряженность электрического и магнитного полей (или магнитная индукция), плотность потока энергии для частотных составляющих ЭМП, превышающих предельно допустимые уровни в границах соответствующих нормируемых частотных диапазонов.

2. Рассчитывается требуемая для исследуемого объекта эффективность экранирования электрического (4.1), магнитного (4.2) и электромагнитного полей (4.3), характеризующая степень превышения ПДУ.

$$\mathcal{E}_{\text{тр.Е}} = \frac{E_{\text{факт}}}{E_{\text{пду}}}, \quad (4.1)$$

где $\mathcal{E}_{\text{тр.Е}}$ – требуемая эффективность экранирования электрического поля;
 $E_{\text{факт}}$ – фактическое значение напряженности электрического поля, В/м;

$E_{\text{пду}}$ – предельно допустимый уровень напряженности электрического поля для соответствующего нормируемого частотного диапазона, В/м;

$$\mathcal{E}_{\text{тр.н}} = \frac{H_{\text{факт}}}{H_{\text{пду}}}, \quad (4.2)$$

где $\mathcal{E}_{\text{тр.н}}$ – требуемая эффективность экранирования магнитного поля;

$H_{\text{факт}}$ – фактическое значение напряженности магнитного поля, А/м;

$H_{\text{пду}}$ – предельно допустимый уровень напряженности магнитного поля для соответствующего нормируемого частотного диапазона, А/м;

$$\mathcal{E}_{\text{тр.ппэ}} = \frac{\text{ППЭ}_{\text{факт}}}{\text{ППЭ}_{\text{пду}}}, \quad (4.3)$$

где $\mathcal{E}_{\text{тр.ппэ}}$ – требуемая эффективность экранирования ЭМП;

$\text{ППЭ}_{\text{факт}}$ – фактическое значение плотности потока энергии, мкВт/см²;

$\text{ППЭ}_{\text{пду}}$ – предельно допустимый уровень плотности потока энергии для соответствующего нормируемого частотного диапазона, мкВт/см².

Учитывая возможность изменения эффективности экранирования в широких пределах (от единиц до 10^{10}), для облегчения вычислительных операций ее представляют в логарифмических единицах – (дБ), используя известный подход к преобразованию линейных величин в логарифмические единицы с введением дополнительных коэффициентов (4.4) и (4.6).

$$L_{\mathcal{E}} = 20 \lg \frac{E_{\text{факт}}}{E_{\text{пду}}}, \quad (4.4)$$

где $L_{\mathcal{E}}$ – требуемая эффективность экранирования электрического поля, дБ;

$$L_{\mathcal{E}_H} = 20 \lg \frac{H_{\text{факт}}}{H_{\text{пду}}}, \quad (4.5)$$

где $L_{\mathcal{E}_H}$ – требуемая эффективность экранирования магнитного поля, дБ;

$$L_{\mathcal{E}_{\text{ппэ}}} = 10 \lg \frac{\text{ППЭ}_{\text{факт}}}{\text{ППЭ}_{\text{пду}}}, \quad (4.6)$$

где $L_{\mathcal{E}_{\text{ппэ}}}$ – требуемая эффективность экранирования ЭМП, дБ.

3. Определяются армирующие компоненты в соответствии с разработанным алгоритмом выбора переменной составляющей экрана.

4. Выбирается вариант экрана с необходимой эффективностью экранирования.

Таблица 4.8 – Эффективность защитных экранов

$\mathcal{E} < 10$ дБ	экранирование недостаточно эффективно
$10 < \mathcal{E} < 30$ дБ	обеспечиваются минимальные требования по экранированию
$30 < \mathcal{E} < 60$ дБ	требования по экранированию обеспечены для большинства случаев
$60 < \mathcal{E} < 90$ дБ	хороший уровень экранирования

При выборе толщины и материала экрана в первую очередь следует учитывать электрические свойства металла, а его механическую прочность, вес, жесткость, а также стой-

кость против коррозии удобство стыковки отдельных деталей, осуществления между ними переходных контактов с малым сопротивлением, удобство пайки, сварки и пр.

Эффективность электрического экрана почти целиком определяется наличием короткого замыкания между экраном и корпусом прибора. При экранировании магнитного поля присоединение экрана к корпусу не изменяет величину возбуждаемых в экране токов и, следовательно, на эффективность магнитного экранирования не влияет, если стыки отдельных частей экрана не снижают эти токи. Изменение частоты мало влияет на действие электрического экрана. Точно так же незначительно влияет удельная проводимость материала, из которого он сделан. Магнитное экранирование целиком зависит от частоты, Чем она ниже, тем слабее действует магнитный экран, тем большей толщины приходится его делать для достижения одной и той же эффективности.

При конструировании экранов необходимо знать следующие свойства идеального проводника:

1. Внутри идеального проводника не могут существовать переменные электрические и магнитные поля, поверхность проводника является эквипотенциальной.

2. Токи протекают только по поверхности пластины из идеального, проводника, несмотря на наличие, более короткого пути.

3. Ток, протекающий по проводу, пропущенному через отверстие в пластине из идеального проводника, возбуждает в пластине поверхностные токи такой силы и направления, что сумма токов, протекающих через поперечное сечение отверстия, будет равна нулю.

4. В экране с перегородками возникают блуждающие токи, охватывающие всю поверхность экрана; при сближении точек присоединения к экрану растут токи, протекающие по более коротким путям, и уменьшаются все остальные. Присоединение к дополнительным точкам не освобождает экран от блуждающих токов; только присоединение цепи к крайним точкам на выступах экрана позволяет избавиться от этих токов, но при условии, что отсутствуют паразитные емкости между экраном и цепью.

5. Суммарный магнитный поток через отверстие в пластине из идеального проводника равен нулю; малые отверстия почти не ухудшают качество экрана, так как магнитное поле, выходящее из отверстия, можно обнаружить только вблизи него, а паразитная емкость, связывающая через электрическое поле экранируемые друг от друга точки, почти не зависит от наличия таких отверстий.

Длинные узкие щели, допустимые в электрическом экране, опасны в магнитном, если они направлены поперек направления вихревых токов. Когда экранируют сложные электрические цепи, в которых направления магнитных потоков могут быть самыми разнообразными, следует избегать длинных щелей. Желательно крышки и экраны соединять друг с другом и с корпусом прибора так, чтобы длина щелей не превосходила $0,01 - 0,001$ длины волны. Это важно и для экранирования поля, так как от качества контакта между частями экрана, определяющего разность потенциалов между ними, почти целиком зависит эффективность электрического экрана.

Под эффективностью экранирования понимается степень ослабления составляющих электромагнитного поля (электрической, магнитной), определяемая как отношение действующих значений напряженностей полей в данной точке пространства при отсутствии и наличии экрана. Так как отношение этих величин достигает больших значений, в практических целях обычно используют логарифмическое представление эффективности экранирования.

Таблица 4.9 – Классификация электромагнитных излучений

Порядковый №	Диапазон радиочастот	Частотные границы диапазона (частота f)	Диапазон радиоволн	Волновые границы диапазона (длина волны λ)
1	Инфразвуковая частота, ИЗЧ	до 3 Гц	-	Более 105 км
2	Крайне низкая, КНЧ	3-30 Гц	Декамегаметровые	105-104 км
3	Сверхнизкая, СНЧ	30-300 Гц	Мегаметровые	104-103 км
4	Инфранизкая, ИНЧ	0,3-3 кГц	Гектокилометровые	1000-100 км
5	Очень низкая, ОНЧ	3-30 кГц	Мериаметровые	100-10 км
6	Низкая частота, НЧ	30-300 кГц	Километровые	10-1 км
7	Средняя, СЧ	0,3-3 МГц	Гектометрвые	1-0,1 км
8	Высокая частота, ВЧ	3-30 МГц	Декаметровые	100-10 м
9	Очень высокая, ОВЧ	30-300 МГц	Метровые	10-1 м
10	Ультравысокая, УВЧ	0,3-3 ГГц	Дециметровые	1-0,1 м
11	Сверхвысокая, СВЧ	3-30 ГГц	Сантиметровые	10-1 см
12	Крайне высокая, КВЧ	30-300 ГГц	Миллиметровые	10-1 мм
13	Гипервысокая, ГВЧ	300-3000 ГГц	Децимиллиметровые	1-0,1 мм

Таблица 4.10 – Диэлектрическая проницаемость вещества при температуре 20°C

Бумага	3-7	Парафин	2,1-2,2
Вакуум	1	Пластик	2,8-4,5
Вода	80-81	Слюда	6-7
Воздух	1	Стекло	4-7
Кварц	4,3	Фарфор	6-8
Керосин	2,1	Эбонит	2,8
Масло	2,5	Этиловый спирт	24

Таблица 4.11 – Относительная магнитная проницаемость

Материал	Относительная магнитная проницаемость
Свехмагнетик	1000000
Чистое железо	200000
Железо с кремнием	7000
Мюметалл	1000
Пермалой	1000
Железо с примесями	5000
Малоуглеродистая сталь	2000
Ферросмесь	1500
Никель	600
Кобальт	250
Платина	1,0000265
Палладий	1,0008
Алюминий	1,00002
Воздух	1,00000037
Вакуум	1

Ниже приводятся формулы для расчета эффективности экранирования экранов разной формы и выполненные из различных материалов.

4.3 Расчет электромагнитных экранов

Расчет электростатического экрана

Ориентировочно эффективность электростатического экранирования плоского листового электростатического экрана можно оценить по формуле

$$\mathfrak{E}_E = 20 \lg \left[\frac{5 \cdot r_3^3}{(a^2 \cdot a_1 - a \cdot a_1^2)} \right], \quad (4.7)$$

где a – расстояние между источником поля и точкой измерения, м;

a_1 – расстояние от экрана до точки измерения, м;

r_3 – радиус эквивалентного сферического экрана, определяемый выражением

$$r_3 \cong \sqrt{\frac{S_3}{\pi}}, \quad (4.8)$$

где S_3 – площадь поверхности экрана, м².

Для электростатических экранов замкнутой формы эффективность экранирования определяется выражением

$$\mathfrak{E}_E = 20 \lg (60 \cdot \pi \cdot d \cdot \sigma), \quad (4.9)$$

где d – толщина экрана, м.

Поэтому, минимальную толщину экрана $d_{\min E}$ возможно определить по формуле

$$d_{\min E} = \frac{10 \cdot \left(\frac{\mathfrak{E}_E^*}{20} \right)}{60 \cdot \pi \cdot \sigma} \quad (4.10)$$

где $\mathfrak{E}_E^*$ – необходимая эффективность экранирования, дБ.

Расчет электромагнитных экранов в дальней зоне излучения

Электромагнитный режим экранирования охватывает частотный диапазон от 10^3 до 10^9 Гц при условии, что расстояние от экрана до источника излучения – $(5 - 6) \cdot \lambda$, а поперечные размеры экрана меньше длины волны.

Эффективность экранирования сплошного электромагнитного экрана в дальней зоне излучения определяется по формуле

$$\mathcal{E}_E = 20 \lg \left[\operatorname{ch} \left(\dot{K} \cdot d \right) \right] + 20 \lg \left[1 + 0,5 \left(\frac{z_B}{z_{\mathcal{E}}} + \frac{z_{\mathcal{E}}}{z_B} \right) \cdot \operatorname{th} \left(\dot{K} \cdot d \right) \right], \quad (4.11)$$

где d – толщина экрана, м;

z_B – характеристическое сопротивление окружающего пространства, Ом (для плоской волны $z_B = 10 \cdot \pi \cdot \text{Ом}$);

$z_{\mathcal{E}}$ – характеристическое сопротивление металла, из которого сделан экран, рассчитываемое по формуле

$$z_{\mathcal{E}} = \sqrt{\frac{\pi \cdot f \cdot \mu_r \cdot \mu_0}{\sigma \cdot e^{j\frac{\pi}{4}}}}, \quad (4.12)$$

где μ_0 – относительная магнитная постоянная

($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$);

K – коэффициент вихревых токов, рассчитываемый по формуле

$$\dot{K} = \sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu_r \cdot \mu_0 \cdot \sigma \cdot e^{j\frac{\pi}{4}}}; \quad (4.13)$$

$\operatorname{ch}(z)$ – гиперболический косинус, который может быть вычислен через соответствующие показательные функции:

$$\operatorname{ch}(z) = \frac{1}{2} (e^z + e^{-z}), \quad (4.14)$$

$\operatorname{th}(z)$ – гиперболический тангенс, который может быть вычислен через соответствующие показательные функции:

$$\operatorname{th}(z) = \frac{e^z - e^{-z}}{e^z + e^{-z}}. \quad (4.15)$$

Расчет электромагнитных экранов в ближней зоне излучения

Эффективность экранирования цилиндрического электромагнитного экрана в ближней зоне излучения.

В данном случае для экранирования электрической составляющей поля характеристическое сопротивление окружающего пространства определяется по формуле

$$z_B = z_{BE}^{\Pi} = -j \left(2\pi \cdot f \cdot \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot r_{\mathcal{E}}^{\Pi} \right)^{-1}, \quad (4.16)$$

где ε_r – относительная диэлектрическая проницаемость среды;

ε_0 – электрическая постоянная ($\varepsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12}$ Ф/м);

$r_{\mathcal{E}}^{\Pi}$ – радиус цилиндрического экрана, м.

А для экранирования магнитной составляющей поля характеристическое сопротивление окружающего пространства определяется по выражению

$$z_B = z_{BH}^{\Pi} = j \left(2\pi \cdot f \cdot \mu_r \cdot \mu_0 \cdot r_{\mathcal{E}}^{\Pi} \right). \quad (4.17)$$

Эффективность экранирования сферического электромагнитного экрана в ближней зоне излучения.

В этом случае для экранирования электрической составляющей поля характеристическое сопротивление окружающего пространства определяется по формуле

$$z_B = z_{BE}^C = \frac{j18 \cdot 10^9}{(\sqrt{2} \cdot f \cdot r_3^C)}, \quad (4.18)$$

где r_3^C – радиус сферического экрана, м.

А для экранирования магнитной составляющей поля характеристическое сопротивление окружающего пространства определяется по выражению

$$z_B = z_{BH}^C = \frac{j79 \cdot 10^{-7} \cdot f \cdot r_3^C}{\sqrt{2}}. \quad (4.19)$$

Эффективность экранирования прямоугольного электромагнитного экрана в ближней зоне излучения.

В этом случае для экранирования электрической составляющей поля характеристическое сопротивление окружающего пространства определяется по формуле

$$z_B = z_{BE}^H = \frac{-j36 \cdot 10^9}{(f \cdot r_3^H)}, \quad (4.20)$$

где r_3^H – половина расстояния между стенками экрана, обращенными к источнику ЭМИ, м.

А для экранирования магнитной составляющей поля характеристическое сопротивление окружающего пространства определяется по выражению

$$z_B = z_{BH}^H = j158 \cdot 10^{-7} \cdot f \cdot r_3^H. \quad (4.21)$$

Остальные величины, входящие в формулу, рассчитываются так же, как для экранирования в дальней зоне.

Если в области низких частот до 10^4 Гц для случая экранирования электромагнитного поля в ближней зоне выполняется условие

$$\left| \frac{z_{BE}}{z_3} \right| \gg \left| \frac{z_3}{z_{BE}} \right|. \quad (4.21)$$

Тогда эффективность экранирования сплошного электромагнитного экрана в ближней зоне излучения определяется по формуле

$$\Theta_{\Sigma E} = 20 \lg |1 + 0,5 \cdot Z_{BE} \cdot \sigma \cdot d|. \quad (4.22)$$

Расчет перфорированных и сеточных экранов

Для перфорированных экранов эффективность экранирования определяется по формуле 4.23

$$\Theta_{\Sigma E(H)} = 20 \lg \left[\sqrt{\sigma \cdot \delta \cdot z_{BE(H)}} \cdot \sqrt[3]{\frac{\lambda}{r_3}} \cdot \left(\frac{a-D}{a} \right)^2 \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot m}{\lambda} \right)^6 \cdot \exp \left(\frac{2\pi \cdot d}{m} \right) \right] \quad (4.23)$$

где a – расстояние между центрами отверстий, м;

D – диаметр отверстий, м;

m – наибольший размер отверстия в экране, м.

Эта формула применима для диапазона длин волн, когда $\lambda > m \cdot \pi$. При $\lambda \cong m \cdot \pi$ эффективность экранирования становится незначительной.

Для экранов, изготовленных из сеточных материалов, за толщину экранов принимают эквивалентную толщину сетки

$$d_c = \frac{\pi \cdot r_{\Pi}^2}{S_c} \quad (4.24)$$

где r_{Π} – радиус провода, м;

S_c – шаг сетки, м.

Формула для расчета эффективности таких экранов принимает вид (45)

$$\Theta_{\text{ЭЭ(Н)}} = 20 \lg \left[\sqrt{d_{\text{с}} \cdot \sigma \cdot z_{\text{БЭ(Н)}}} \cdot \sqrt[3]{\frac{\lambda}{r_{\text{э}}}} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot m}{\lambda}\right)^6 \cdot \exp\left(\frac{2\pi \cdot r_{\text{п}}}{S_{\text{с}} \cdot 2 \cdot r_{\text{п}}}\right) \right] \quad (4.25)$$

Эффективность экранов, изготовленных из электрически тонких материалов, в том числе с металлизированными поверхностями, определяется выражением

$$\Theta_{\text{ЭЭ(Н)}} = 20 \lg \left[1,25\pi \cdot \sqrt{d \cdot \sigma \cdot z_{\text{БЭ(Н)}}} \cdot \sqrt[3]{\frac{\lambda}{r_{\text{э}}}} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot m}{\lambda}\right)^6 \right], \quad (4.26)$$

где d – толщина слоя металла, м.

Как следует из формулы, наличие щелей и отверстий в экране уменьшает эффективность экранирования приблизительно на величину $\Theta_{\text{щ}}$

$$\Theta_{\text{щ}} = 120 \lg \left(1 - \frac{m \cdot \pi}{\lambda}\right), \quad (4.27)$$

где m – определяющий размер отверстия (щели) в экране.

Выбор размера щели в экране зависит от материала экрана, поскольку от этого зависит принцип экранирования: в экране из магнитного материала экранирование осуществляется за счет шунтирования магнитного поля в экране, а в экране из немагнитного электропроводного материала – за счет вытеснения магнитного поля наведенными в экране вихревыми токами.

Формулу для определения результирующей эффективности экранирования переменных электромагнитных полей, соответствующей суммарным потерям электромагнитной волны, можно представить в общем виде

$$A = A_{\text{отр.}} + A_{\text{погл.}} + A_{\text{м.отр.}}, \quad (4.28)$$

где A – суммарные потери электромагнитной волны, дБ;

$A_{\text{отр.}}$ – потери электромагнитной волны за счет отражения экраном, дБ;

$A_{\text{погл.}}$ – потери ЭМВ вследствие поглощения экраном, дБ;

$A_{\text{м.отр.}}$ – потери электромагнитной волны, учитывающие многократные внутренние переотражения от поверхности экрана, дБ.

Потери ЭМВ на отражение для металлических экранов в дальней зоне рассчитываются по формуле

$$A_{\text{отр.д.}} = 10 \lg \left(94,25 \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{\omega \cdot \mu_0 \cdot \mu_r}} \right), \quad (4.29)$$

где ω – циклическая частота, рад/с;

μ_0 – магнитная постоянная ($4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м).

Потери электрической составляющей электромагнитного поля на отражение для экранов в ближней зоне можно определить следующим образом

$$A_{\text{отр.б.ЭП}} = 20 \lg \left(\frac{0,25}{\omega \cdot \varepsilon_r \cdot r} \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{\omega \cdot \mu_r}} \right), \quad (4.28)$$

где ε_r – относительная диэлектрическая проницаемость материала;

r – расстояние от источника ЭМП до экрана, м;

f – частота, Гц.

Потери магнитной составляющей ЭМП на отражение для экранов в ближней зоне определяются по формуле (4.29), потери электромагнитной волны на поглощение – (4.30), а потери на многократные отражения ЭМВ в толще экрана – (4.31).

$$A_{\text{отр.б.МП}} = 20 \lg \left(0,25 \cdot \omega \cdot \mu_r \cdot r \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{\omega \cdot \mu_r}} \right), \quad (4.29)$$

$$A_{\text{погл.}} = 6,16 \cdot d_{\text{экp}} \cdot \sqrt{\omega \cdot \mu_r \cdot \sigma}, \quad (4.30)$$

$$A_{\text{м.отр.}} = 20 \lg \left(1 - \exp \left(-2d_{\text{экp}} \cdot \sqrt{\frac{\omega \cdot \mu_r \cdot \sigma}{2}} \right) \right). \quad (4.31)$$

Практические задания

1. Рассчитать эффективность магнитостатического стального квадратного экрана при внешней ширине 50 см и толщине 2 см.
2. Определить эффективность экранирования плоского листового электростатического экрана. Площадь поверхности экрана составляет 20 см, расстояние между источником ЭМИ и человеком – 60 см, расстояние от экрана до человека – 10 см.
3. Рассчитать эффективность магнитостатического медного квадратного экрана при внешней ширине 40 см и толщине 1 см.
4. Вычислить толщину магнитостатического цилиндрического экрана. Эффективность экранирования – 120 дБ, внешний диаметр экрана – 1 м 20 см.
5. Определить эффективность экранирования плоского листового электростатического экрана. Площадь поверхности экрана составляет 30 см, расстояние между источником ЭМИ и человеком – 80 см, расстояние от экрана до человека – 25 см.
6. Рассчитать эффективность магнитостатического алюминиевого квадратного экрана при внешней ширине 30 см и толщине 0,5 см.
7. Вычислить толщину магнитостатического цилиндрического экрана. Эффективность экранирования – 140 дБ, внешний диаметр экрана – 1 м 50 см.
8. Определить эффективность экранирования железного электростатического экрана замкнутой формы при толщине экрана 10 см. Форма экрана – заполненный параллелепипед.
9. Рассчитать эффективность магнитостатического медного квадратного экрана при внешней ширине 45 см и толщине 1 см.
10. Вычислить толщину магнитостатического цилиндрического экрана. Эффективность экранирования – 165 дБ, внешний диаметр экрана – 1 м 70 см.
11. Рассчитать эффективность экранирования сплошного электромагнитного экрана в дальней зоне излучения в случае для плоской волны. Материал экрана – сталь. Толщина экрана составляет 5 см. Частота электромагнитного излучения 30 МГц.
12. Определить эффективность экранирования железного электростатического экрана замкнутой формы при толщине экрана 15 см. Форма экрана – заполненный куб.
13. Рассчитать эффективность экранирования цилиндрического алюминиевого электромагнитного экрана в ближней зоне излучения. Радиус цилиндра составляет 15 см, частота ЭМИ – 50 МГц.
14. Вычислить эффективность экранирования сферического медного электромагнитного экрана в ближней зоне излучения. Радиус сферы составляет 17 см, частота ЭМИ – 3 кГц.
15. Рассчитать эффективность экранирования сплошного электромагнитного экрана в дальней зоне излучения в случае для плоской волны. Материал экрана – медь. Толщина экрана составляет 3 см. Частота электромагнитного излучения 30 МГц.
16. Определить эффективность перфорированного экрана из меди в случае ЭМИ частотой 3 МГц. При этом наибольший размер отверстия в экране составляет 10 мм,

расстояние между центрами отверстий – 20 мм, радиус отверстий – 8 мм, толщина экрана – 5 мм.

17. Вычислить эффективность экранирования сферического алюминиевого электромагнитного экрана в ближней зоне излучения. Радиус сферы составляет 20 см, частота ЭМИ – 3 кГц.

18. Определить эффективность перфорированного экрана из бронзы в случае ЭМИ частотой 3 МГц. При этом наибольший размер отверстия в экране составляет 13 мм, расстояние между центрами отверстий – 30 мм, радиус отверстий – 10 мм, толщина экрана – 5 мм.

19. Рассчитать эффективность сетчатого латунного экрана в случае ЭМИ частотой 3 кГц. При этом экран выполнен в виде прямоугольника. Наибольший размер отверстий в экране составляет 13 мм, шаг сетки – 25 мм, радиус провода – 5 мм, половина расстояния между стенками экрана, обращенными к источнику ЭМИ – 1250 мм.

20. Вычислить эффективность экранирования сферического стального электромагнитного экрана в ближней зоне излучения. Радиус сферы составляет 15 см, частота ЭМИ – 3 кГц.

Контрольные вопросы

1. Что такое экранирование?
2. Назовите виды экранирования.
3. Дайте определение электромагнитному экрану.
4. Принцип электростатического экранирования.
5. На каком эффекте основано магнитное экранирование?
6. Как осуществляется электромагнитное экранирование?
7. Какие существуют экранирующие материалы и ткани?
8. Как материал экранирования влияет на качество экрана?
9. Какие материалы являются наиболее эффективными при экранировании электрического поля?
10. Что понимается под эффективностью экранирования?
11. Какие материалы являются наиболее эффективными при экранировании магнитного поля?
12. Как рассчитывается эффективность листового экрана?
13. Что такое ближняя зона излучения?
14. Как определяется эффективность экранирования электромагнитных экранов в ближней зоне излучения?
15. Что такое дальняя зона излучения?
16. Как определить эффективность экранирования электромагнитных экранов в дальней зоне излучения?
17. Опишите основные мероприятия по обеспечению электромагнитной безопасности.
18. Как определяется эффективность экранирования перфорированных и сеточных экранов?
19. Назовите индивидуальные средства защиты от действия ЭМИ.
20. Опишите организационные меры защиты от действия ЭМИ.
21. Расскажите о мероприятиях по защите от электрического поля.
22. Какие индивидуальные средства защиты применяются для защиты от действия электромагнитного поля промышленной частоты?
23. Назовите мероприятия по защите от магнитного поля.
24. Опишите картину опасности электромагнитной обстановки.
25. В чем отличие защиты от магнитного и электростатического поля?
26. Какие индивидуальные средства защиты применяются для защиты от действия электростатического поля?

27. Как защититься от статического электричества?
28. Назовите мероприятия по защите от электромагнитного поля.
29. Какие индивидуальные средства применяются для защиты от действия электромагнитного поля радиочастотного диапазона?
30. Как защититься от электромагнитных излучений сверхвысокой частоты?

Список использованных источников

1. Титов, Е. В. Разработка методологии комплексного контроля и визуализации электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетической инфраструктуры : монография / Е.В. Титов, А. А. Сошников. – Москва : Издательство Перо, 2021. – 298 с. – 45,4 Мб. – ISBN 978-5-00189-827-6.
2. Доровских, Р. Е. Разработка учебного пособия по курсу «Электромагнитная безопасность» для бакалавриата : бакалаврская работа / Р. Е. Доровских ; науч. рук. Е. В. Титов. – Барнаул : АлтГТУ, 2016. – 103 с.
3. Аполлонский, С. М. Электромагнитная безопасность в урбанизированном пространстве : монография / С. М. Аполлонский. – Москва : КноРус, 2018. – 288 с.
4. Багаев, А. А. Электротехнология : учебное пособие / А. А. Багаев, А. И. Багаев, Л. В. Куликова. – Барнаул : Изд-во АГАУ, 2006. – 315 с.
5. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. – Москва: Роспотребнадзор, 2021. – 469 с.
6. МСанПиН 001-96. Санитарные нормы допустимых уровней физических факторов при применении товаров народного потребления в бытовых условиях. – Москва : Минздрав России, 1996. – 19 с.
7. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи. – Москва : Минздрав России, 2003. – 13 с.
8. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов. – Москва: Минздрав России, 2007. – 22 с.
9. МГСН 2.03-97. Допустимые параметры электромагнитных излучений в помещениях жилых и общественных зданий и на селитебных территориях. – Москва: Госсанэпидемнадзор, 1997. – 4 с.
10. ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля. – Москва : Стандартинформ, 2009. – 7 с.
11. ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. – Москва : Стандартинформ, 2006. – 3 с.
12. ГОСТ Р 52084-2003. Приборы электрические бытовые. Общие технические условия. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2003. – 14 с.
13. ГОСТ Р 55815-2013. Безопасность объектов и средств связи. Методы исследований и расчета уровней электромагнитных излучений при проектировании объектов связи. – Москва : Росстандарт, 2013. – 12 с.
14. ГОСТ Р 57412-2017. Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий. Общие положения. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 15 с.
15. ГОСТ Р 54852-2011. Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 17 с.
16. МУК 4.3.677-97. Определение уровней электромагнитных полей на рабочих местах персонала радиопредприятий, технические средства которых работают в НЧ, СЧ и ВЧ диапазонах. – Москва: Интерсэн, 1998. – 23 с.
17. МУК 4.3.679-97. Определение уровней магнитного поля в местах размещения передающих средств радиовещания и радиосвязи кило-, гекто- и дециметрового диапазонов. – Москва: Интерсэн, 1998. – 31 с.
18. МУК 4.3.2491-09. Гигиеническая оценка электрических и магнитных полей промышленной частоты (50 Гц) в производственных условиях. – Москва : Роспотребнадзор, 2009. – 24 с.
19. МУК 4.3.1167-02. Определение плотности потока энергии электромагнитного

поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц. – Москва: Минздрав России, 2002. – 65 с.

20. Куликова, Л. В. Интенсификация электротехнологических процессов в кормопроизводстве на основе использования электромагнитного поля: дис. ... док. тех. наук / Лидия Васильевна Куликова. – Барнаул, 2001. – 411 с.

21. Цугленок, Н. В. Статистический анализ и оптимизация СВЧ-обработки семян маслиничных культур на примере рапса / Н. В. Цугленок, Г. И. Цугленок, А. В. Мещеряков // Энергетика и энергосбережение. – Красноярск, 2005. – № 3. – С. 151 - 155.

22. Бедарев, А. И. Компьютер как источник переменного электромагнитного поля [Электронный ресурс] // ЭМИ. – Москва, 2009. – Режим доступа : <http://www.pole.com.ru/spk.htm#emf>

23. Морозов, Ю. А. Прибор для измерения напряженности электрического поля промышленной частоты / Ю. А. Морозов, О. М. Громов // Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. – Москва: Профиздат, 1970. – Вып.65. – С. 41-44.

24. Bocke, H. Messung der elektrischen Feldstärke bei hohen transienten und periodisch zeitabhängigen Spannungen / H. Bocker, L. Wilhelmy // Elektro-technische zeitschrift, 1970. – S. 427-430.

25. Пат. 2292053. Российская федерация МПК7 G 01 R 29/08. Способ измерения магнитных полей электронно-оптическим методом / В. Ф. Калинин, В. М. Иванов, Е. А. Печачин, [и др.]; заявитель и патентообладатель: ГОУ ВПО Тамбовский государственный технический университет. – № 2004129351/28; заявл. 05.10.2004; опубл. 20.01.2007, Бюл № 2.

26. Пат. 2214611. Российская федерация МПК7 G 01 R 29/12, G 01 R 29/08. Способ измерения напряженности электрического поля / С. В. Бирюков; заявитель и патентообладатель: Омский государственный технический университет. – № 2001101656/09; заявл. 17.01.2001; опубл. 20.10.2003, Бюл № 29.

27. Пат. 2388003. Российская федерация МПК7 G 01 R 029/08. Способ измерения напряженности электромагнитного поля / С.В. Бирюков, Е.В. Тимонина; заявитель и патентообладатель: Омский государственный технический университет. – № 2008135566/28; заявл. 02.09.2008; опубл. 27.04.2010, Бюл № 12.

28. Пат. 2189605. Российская федерация МПК7 G 01 R 29/08. Способ измерения уровней электромагнитного излучения / О. Н. Маслов, В. Б. Толмачев, Р. Р. Шакиров; заявитель и патентообладатель: Поволжская государственная академия телекоммуникаций и информатики. – № 2001119222/09; заявл. 11.07.2001; опубл. 20.09.2002, Бюл № 26.

29. Пат. 2187825. Российская федерация МПК7 G01R29/08. Способ определения уровня низкочастотного электромагнитного излучения средств электронно-вычислительной техники / О. Н. Маслов, В. Б. Толмачев; заявитель и патентообладатель: Поволжская государственная академия телекоммуникаций и информатики. – № 2001117709/09; заявл. 25.06.2001; опубл. 20.08.2002, Бюл № 23.

30. Измеритель напряженности поля промышленной частоты ПЗ-50 [Электронный ресурс] // Приборостроительная компания Экосфера. – Москва, 2012. – Режим доступа : <http://ekosf.ru/produktsiya/neioniziruyushchie-izlucheniya/em-polya/452-p3-50>

31. Измеритель уровней электромагнитных излучений ПЗ-41 [Электронный ресурс] // Евролаб. – Санкт-Петербург, 2007. – Режим доступа : http://www.eurolab.ru/izmeritel_p341

32. COMSOL Multiphysics® Программное обеспечение для мультифизического моделирования [Electronic resource]. – Режим доступа : <https://www.comsol.ru>

33. Давыдов, А. Ф. Развитие применения СИЗ от электромагнитного излучения [Электронный ресурс] // Группа изданий по легкой и текстильной промышленности. – Санкт-Петербург, 2011. – Режим доступа : <http://легпромбизнес.пф/index.php/90-rabochaya-odezhda-3-2011/191>

34. Усачев, В. П. Исследование электромагнитных экранов: учебное пособие / В. П. Усачев, В. П. Григорьев, В. Г. Костиков; под ред. Е. М. Парфенова. – Москва: Издатель-

ство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – 12 с.

35. Шапиро, Д. Н. Электромагнитное экранирование: научное издание / Д. Н. Шапиро – Долгопрудный: Интеллект, 2010. – 120 с.

36. Установка для предпосевной обработки семян электромагнитным полем сверхвысокой частоты: полезная модель № 61496 / Н. В. Цугленок, А. В. Бастрон, А. В. Мещеряков. – опубл. 17.10.06 ; служ. Пат. от 17.12.07. – зарегистрировано в реестре 27.02.2007.

37. Liebig T. AppCSXCAD – Minimal GUI Application using the QCSXCAD library [Electronic resource]. – Режим доступа: <https://github.com/thliebig/AppCSXCAD>, свободный (дата обращения: 4.11.2020). – Загл. с экрана.

38. Liebig T. OpenEMS - open electromagnetic field solver [Electronic resource]. General; Theoretical Electrical Engineering (ATE), University of Duisburg-Essen. – Режим доступа : <http://openEMS.de>, , свободный (дата обращения: 10.11.2020). – Загл. с экрана.

Приложение А. Экранирующие материалы

Таблица А.1 – Типы антистатических браслетов [33]

Типы антистатических браслетов
Тканое эластичное волокно с электропроводными волокнами на внутренней поверхности
Вязаное эластичное волокно с электропроводными волокнами на внутренней поверхности
Тканое неэластичное волокно, имеющее электропроводную внутреннюю поверхность
Металлический расширяемый браслет с изолирующей смолой на внешней поверхности
Пластмассовый часовой ремешок с полосками из нержавеющей стали на внутренней поверхности
Браслет из листового металла с изолирующей смолой на внешней поверхности
Электродная вставка с электропроводным клеем

Таблица А.2 – Сопоставление свойств электростатических материалов [33]

Свойство	Антистатические ПАВы	Листы с по- крытием	Наполненные углеродом	Сплавы IDP
Электрические свойства				
Физическая износостой- кость	+/-	+	+	+
Способность подвергаться литьевому формованию	-	+	+	+
Способность подвергаться горячему формованию	-	-	+	+
Чистота				
Постоянность и устойчи- вость	-	+/-	+/-	+
Мало ионов	+/-	+/-	+	+
Мало частиц	+/-	+/-	-	+
Механические свойства				
Физическая износостой- кость	-	+/-	+	+
Пригодность к литьевому формованию	-	-	+	+
Пригодность к горячему формованию	+/-	+/-	+	+
Примечания: + – высокие рабочие параметры; +/- – средние рабочие параметры; - – низкие рабочие параметры.				

Таблица А.3 – Основные группы магнитно-мягких материалов и их свойства [35]

Отличительное свойство группы М.-м.м.	Марка типичного материала	B _S , Тл	T _C , °C	H _C , А/М	μ _а	μ _{макс}	ρ·10 ⁶ , Ом·см
Наибольшая намагничённость насыщения, высокая точка Кюри, T _C	железо 20832 сплав Fe-Co 49 КФ	2.16 2.40	770 940	32 175	- -	5·10 ³ 4.4·10 ³	10 20
Низкие магнитные потери Р при частоте 50 Гц	электротехнич. сталь: анизотропная, 3415 (0.35 мм) изотропная, 2412 (0.35 мм) аморфный сплав на основе Fe (25 мкм)	2.0 2.0 1.56	740 740 415	- - 2.4	- - -	- - -	50 50 130
Низкие магн. потери при перемагничивании в полях звуковых частот	электротехнич. сталь: анизотропная, 3415 (0.05 мм) изотропная, 2412 (0.1 мм) аморфный сплав на основе Fe (25 мкм)	2.0 2.0 1.58	740 740 405	32 36 8	- - -	- - -	50 51 125
Низкие магн. потери в диапазоне высоких и сверхвысоких частот	феррит 150 ВЧ магнитодиэлектрик Р 100 феррит-гранат 30С46	0.35 - 0.13	400 - 280	250 - 80	170 10 70	350 - -	10 ¹² - 10 ¹⁴
Наивысшая магн. проницаемость μ _{макс} в слабых полях	79 НМ (0.05 мм) 81 НМА (0.05 мм)	0.73 0.5	450 260	1.2 0.56	3·10 ⁴ 1·10 ⁵	2·10 ⁵ 3·10 ⁵	55 80
Повышенное электросопротивление	50НХС (0.1 мм) 12Ю	1.0 1.0	360 600	10 24	3·10 ² 1·10 ³	2.8·10 ⁴ -	90 100
Высокая индукция	50 Н (0.1 мм)	1.5	500	14	3·10 ³	3·10 ⁴	45
Прямоугольная петля гистерезиса	50 НП (0.05 мм) 68НМП (0.1 мм)	1.52 1.15	500 580	11 0.8	- -	8·10 ⁴ 5.5·10 ⁵	45 45
Высокая магнитострикция	49К2Ф (0.2 мм) 9Ю-ВИ (0.2 мм)	2.35 1.4	960 710	160 60	7·10 ² -	5.5·10 ³ 1.5·10 ³	40 90

Таблица А.4 – Типовые значения глубины поверхностного слоя некоторых материалов для разных частот магнитного поля [34]

Частота	Медь, мм	Алюминий, мм	Сталь, мм
60 Гц	8,5	10,9	0,86
100 Гц	6,6	8,5	0,66
1 кГц	2,1	2,7	0,2
10 кГц	0,66	0,84	0,08
100 кГц	0,2	0,3	0,02
1 МГц	0,08	0,08	0,008

Таблица А.5 – Эффективность экранирования различными материалами [35]

Металл	Удельное сопротивление, (Ом·мм ²)/м	Относительная магнитная проницаемость μ_r	Частота, Гц	Глубина проникновения, мм при уменьшении поля	
				в 6 раз	в 100 раз
Медь	0,0175	1	10 ⁵	0,21	0,99
			10 ⁶	0,067	
			10 ⁷	0,021	
			10 ⁸	0,0067	
Латунь	0,06	1	10 ⁵	0,39	1,5
			10 ⁶	0,124	
			10 ⁷	0,039	
			10 ⁸	0,0124	
Алюминий	0,03	1	10 ⁵	0,275	1,28
			10 ⁶	0,088	
			10 ⁷	0,0275	
			10 ⁸	0,0088	
Сталь	0,1	50	10 ⁵	0,023	—
			10 ⁶	0,007	
			10 ⁷	0,0023	
			10 ⁸	0,0023	
Сталь	0,1	200	10 ²	1,1	0,16
			10 ³	0,35	
			10 ⁴	0,11	
			10 ⁵	0,036	
Пермаллой	0,65	12000	10 ²	0,38	1,0
			10 ³	0,12	
			10 ⁴	0,038	
			10 ⁵	0,012	

Таблица А.6 – Коэффициент экранирования полей высоких частот металлическими листами и сетками [2]

Вид экрана	Материал экрана	Частота				
		10 кГц	100 кГц	1 МГц	10 МГц	1 ГГц
Металлические листы толщиной 0,5 мм	Сталь	$2,5 \times 10^6$	5×10^8	10^{12}	10^{12}	10^{12}
	Медь	5×10^6	10^7	6×10^8	10^{12}	10^{12}
	Алюминий	3×10^6	4×10^6	10^{12}	10^{12}	10^{12}
Металлические сетки	Медь, проволока 0,1 мм ячейки 1×1 мм	$3,5 \times 10^6$	$3,5 \times 10^5$	10^5	$1,5 \times 10^4$	$1,5 \times 10^3$
	Медь, проволока 1 мм ячейки 10×10 мм	10^6	10^5	$1,5 \times 10^4$	$1,5 \times 10^3$	$1,5 \times 10^2$
Металлические сетки	Сталь, проволока 0,1 мм ячейки 1×1 мм	6×10^4	5×10^4	$1,5 \times 10^4$	4×10^3	9×10^2
	Сталь, проволока 1 мм ячейки 10×10 мм	2×10^5	5×10^4	2×10^4	$1,5 \times 10^3$	$1,5 \times 10^2$

Таблица А.7 – Экранирующие материалы для изготовления средств защиты от ЭМИ РЧ в диапазоне частот 30 МГц - 40 ГГц [33]

Наименование материала	ГОСТ, ТУ	Толщина, мм	Диапазон частот, Гц	Ослабление, дБ
Листовая СтЗ	ГОСТ 19903-74	1,4	30 МГц - 40 ГГц	100
Фольга алюминиевая	ГОСТ 618-73	0,08	—	80
Фольга медная	ГОСТ 5638-75	0,08	—	80
Сетка стальная тканая	ГОСТ 5336-73	0,3 - 1,3	—	30
Радиозащитное стекло с одно- или двухсторонним полупроводниковым покрытием	ТУ 21-54-41-73	6	30 МГц - 30 ГГц	20 - 40
Ткань хлопчатобумажная с микропроводом	ОСТ 17-28-70	—	—	20 - 40
Ткань металлизированная «Восход»	—	—	10 кГц - 30 ГГц	40 - 65
Ткань трикотажная (полиамид + проволока)	ТУ 6-06-С202-90	—	300 кГц - 30 МГц	15 - 40

Таблица А.8 – Основные размеры образцов сеток [34]

Номер сеток по ГОСТ3584-53	Число ячеек 1 см ² сетки	Диаметр проволоки, мм	Вес 1 м ³ сетки, кг
2,6	10,4	0,50	1,41
2	16	0,50	1,41
1,25	34,6	0,40	1,33
1	54,9	0,35	1,28
0,9	64	0,35	1,38
0,8	82,6	0,30	1,20
0,5	193	0,22	0,94
0,4	381	0,15	0,58
0,2	918	0,13	0,72
0,1	3460	0,07	0,40

Таблица А.9 – Параметры просветных электромагнитных экранов [33]

Краткая характеристика экрана	Коэффициент пропускания, %	Шаг сетки, мкм	Толщина нити, мкм	Материал нити
Металлическая сетка, натянутая на рамку	30	96	40	БрОФ6 S -0,4
Металлическая сетка, натянутая на рамку	35	160	60	Л80
Металлическая сетка, натянутая на рамку	63	155	30	БрОФ6 S -0,4
Металлическая сетка, расположенная между двумя стеклянными пластинами; толщина панели 7 мм	50	157	40	БрОФ6 S -0,4
Сетка из полиэфирной нити с токопроводящим и антиотражающим покрытием SunFlex (Англия)	45	107	61	-

Таблица А.10 – Характеристики радиопоглощающих материалов, используемых для создания средств защиты от ЭМИ РЧ и СВЧ [33]

Наименование материала	Рабочая частота излучения, ГГц	Коэффициент отражения, %
Резиновые коврики:		
В2Ф2	7,5 – 37,5	2
В2Ф3	7,5 – 37,5	2
ВКФ-1	7,5 – 37,5	2
Магнитодиэлектрические пластины:		
ХВ-0.8	37,5	2
ХВ-2.0	15,0	2
ХВ-3.2	9,4	2
ХВ-4.4	6,8	2
ХВ-6.2	4,8	2
ХВ-8.5	3,5	2
ХВ-10.6	2,8	2
СВЧ-068	0,15 – 2,0	3 – 4
Поглощающие материалы на основе поролона:		
Б-2	37,5	2
Б-3	1,1	2
БР-3	0,75	2
ВРПМ	не выше 10,0	1 – 2
Поглощающие материалы на основе древесины:		
ЛУЧ-50	1,5 – 37,5	3
ЛУЧ-100	0,75 – 37,5	3
ЛУЧ-150	0,5 – 37,5	3
Текстолит графитированный N 369-61	1,9 – 37,5	до 50
Краска НТСО 014-003	1,9 – 37,5	до 50

Резиновые коврики ВКФ-1, В2Ф-2, В2Ф-3 представляют собой прессованные листы резины специального состава с коническими сплошными или полыми шипами (высота 8-10 мм).

Широко используются в последнее время магнитодиэлектрические пластины ХВ-0,8; 2; 3,2; 10,6 (цифра обозначает среднюю длину волны, на которую рассчитан поглощающий материал).

Пластина представляет собой пористую резину, наполненную карбонильным железом, с впрессованной латунной сеткой (размер ячеек меньше 1 мм²).

Способы укрепления поглощающих покрытий к каркасу щита или защищаемой поверхности состоят, главным образом, в приклеивании их с помощью специальных клеев типов ПХВ, ХВК-2а, МС, N 88 и т.д. [33-35].

Таблица А.11 - Характеристика защитных свойств строительных материалов и изделий из них при действии микроволн [33-35]

Наименование материала или конструкции	Толщина, см	Сквозное затухание (дБ) на частоте		
		3,0 ГГц	10,0 ГГц	37,5 ГГц
Кирпич	12	15	15	15
Металлизированный стеклянный кирпич	-	25	25	25
Штукатурка	1,8	-	8	12
Стекло	0,28	-	2	2
Доска	5,0	8,4	-	-
Доска	3,5	5,0	-	-
Доска	1,6	2,8	-	-
Фанера	0,4	-	1	2
Шлакобетонная стена	46	14,5	21	-
Древесностружечная плита	1,8	3,2	20,5	-
Капитальная стена здания	70	16	12	-
Оштукатуренная стена	15	8	22	-
Межэтажная перегородка	80	20	13	-
Окно с двойными рамами	-	7	-	-
Окно с одинарной рамой	-	4,5	-	-

Таблица А.12 – Защитные свойства экранирующих тканей [33]

Частота излучения, ГГц	Ослабление, дБ			
	В-1	«Восход -1 Н»	«Восход - ЮН»	«Восход - 12НМ»
37,5	20	-	-	-
9,3	28	-	70	70
3,0	40	-	70	70
1,2	43	40	8	99
0,6	46	44	75	98
0,3	54	47	70	99

Таблица А.13 – Защитные свойства хлопчатобумажной ткани с микропроводом [34]

Длина волны, см	0,8	3,2	10	25	50	100
Ослабление, дБ	20	28	40	43	46	54

Защитные свойства ткани сохраняются при температуре внешней среды от -40 до +100°С и при относительной влажности до 98%. Ткань можно стирать, гладить, окрашивать, а изделия из нее изготавливать на обычных швейных машинах.

Таблица А.14 – Характеристика защитных свойств покрытий, используемых при изготовлении радиозащитных очков от СВЧ излучений [35]

Наименование защитного материала	Толщина покрытия	Сквозное затухание микроволн (дБ) на частотах			Оптическая прозрачность
		5,9 ГГц	9,7 ГГц	18,8 ГГц	
Золотая пленка	11 ммк	6,4	10,0	21,0	49
Золотая пленка	30 ммк	28,0	30,0	40,0	24
Золотая пленка	75 ммк	34,0	40,0	57,8	3,2
Медная сетка	8 яч./см	30,0	27,0	27,0	50
Свинцовое стекло	8,3 мм	5,2	6,0	8,0	85
Люсит	5,0 мм	1,0	3,0	6,0	92
Стекло с проводящим покрытием	150 ммк	8,0	8,0	8,0	85
Стекло с проводящим покрытием 70 Ом	300 ммк	10,4	10,0	9,0	80
Стекло с проводящим покрытием 150 Ом	1,5 ммк	20,4	19,2	31,0	45
Стекло с окисно-металлизированной пленкой ТУ 166-63	-	20,0	20,0	20,0	73

Таблица А.15 – Индивидуальные средства защиты от действия ЭМИ [5-15]

Средства защиты	Электростатическое поле	Электромагнитное поле промышленной частоты	Электромагнитное поле радиочастотного диапазона
Одежда	Антистатические халаты	Костюмы, комбинезоны из тканевого волокна в сочетании с проводящим экранирующим слоем	Радиозащитные халаты, костюмы, комбинезоны и другая форма одежды из металлизированной ткани
Обувь	Антистатическая обувь	Ботинки, полуботинки токопроводящие; сапоги, полусапоги, галоши резиновые повышенной электропроводимости	Бахилы из металлизированной ткани
Средства защиты рук	Заземляющие браслеты	Рукавицы, перчатки из электропроводящей ткани	Рукавицы, перчатки из металлизированной ткани
Средства защиты головы, лица, глаз	Шлемы, капюшоны, маски, соединенные с землей	Металлические либо пластмассовые металлизированные каски; шапки с прокладкой из токопроводящей ткани	Очки защитные; шлемы, капюшоны, маски из радиоотражающих материалов

Учебное издание

Титов Евгений Владимирович,
Сошников Александр Андреевич

КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ
ДЛЯ ВЫБОРА ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Учебно-методическое пособие

Издано в авторской редакции

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Алтайский государственный
технический университет им. И.И. Ползунова»,
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46

[В начало](#)