



**Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический
университет**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к выполнению контрольной работы по дисциплине
"СИСТЕМЫ ПЕРСОНАЛЬНОЙ РАДИОСВЯЗИ "**

**для студентов заочной формы обучения
направления 0907 — Радиотехника**

**Севастополь
2006**

УДК 621.396.1

Методические указания и индивидуальные задания для выполнения контрольных работ по дисциплине «Системы персональной радиосвязи»/ Сост. И.Б. Широков. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2006. — 28 с.

Целью данной методической разработки является оказание помощи студентам заочной формы обучения в выполнении контрольной работы по дисциплине «Системы персональной радиосвязи», а также в получении ими теоретических знаний и практических навыков проектирования систем радиосвязи.

Рассмотрено и утверждено на заседании научно-методического семинара кафедры радиотехники (протокол № ____ от 2006 г.)

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний

Рецензенты: зав. кафедрой радиотехники, д.т.н. Гимпилевич Ю.Б.
канд. тех. наук, доцент Зиборов С.Р..

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Задание на выполнение контрольной работы	5
2. Методические рекомендации к выполнению контрольной работы.....	6
2.1. Общие вопросы проектирования систем радиосвязи	6
2.2. Частотно-территориальное планирование сетей транкинговой связи	12
2.3. Методики оценки санитарно-защитных зон и зон ограниченной застройки ...	26
3. Порядок выполнения контрольной работы	29
Библиографический список.....	30

Введение

В процессе изучения дисциплины «Системы персональной радиосвязи», студент должен научиться рассчитывать параметры электромагнитного поля, создаваемого базовой станцией системы связи, производить частотное и территориальное планирование системы связи, рассчитывать санитарно защитные зоны и зоны ограниченной застройки.

Изучение дисциплины рассчитано на один семестр.

Для студентов заочной формы обучения предусмотрено выполнение контрольной работы, самостоятельную работу над материалом дисциплины, выполнение лабораторных работ.

1. Задание на выполнение контрольной работы

В данной контрольной работе требуется спроектировать систему транкинговой радиосвязи.

Варианты заданий приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Исходные данные для выполнения контрольной работы

№ п.п.	№ Варианта (m) Название параметра	0-3	4-6	7-9
1	Тип застройки района	Сельская местность	Среднеэтажн. застройка	Многоэтажная застройка
2	Радиус действия системы, км	200	80	30
3	Число потенц. пользователей	50	100	1000
4	Тип местности, разность перепадов высоты на трассе, м	300	100	500
5	Чувствительность приемника абонентской станции, мкВ	0.15	0.3	0.5
6	Частотный разнос каналов, кГц	40	30	25
7	Стоимость подключения одной телефонной линии	1500	1300	1000
8	Стоимость базового оборудования	4000	4000	4000
9	Стоимость абонентской станции	400	450	500

Выбор варианта осуществляется по последней цифре номера зачетной книжки студента. Если номер зачетной книжки XXXXXm, m — последняя цифра номера зачетной книжки, то номер варианта определяется по номеру m, приведенному в строке 1 таблицы 1.

2. Методические рекомендации к выполнению контрольной работы

2.1. Общие вопросы проектирования систем радиосвязи

Процесс проектирования систем транкинговой связи должен начинаться с определения рабочего диапазона частот. Основными факторами, влияющими на выбор диапазона частот, являются:

- загруженность отдельных диапазонов частот в регионе; концепции и планы развития подвижной службы на соответствующей территории;
- тип застройки района обслуживания; для сельских районов наиболее оптимальными являются диапазоны 33-48 и 160 МГц, а для городской застройки - 300, 450 и 900 МГц;
- технические возможности реализации радиотранкинга с требуемой совокупностью характеристик в каждом из указанных диапазонов.

Далее необходимо определить основных требований к системе по покрытию территории. Обычно требования по зоне обслуживания формируются с учетом конфигурации населенных пунктов, крупных промышленных зон, транспортных магистралей и числа потенциальных пользователей системы. Средние значения размеров зон обслуживания зависят от мощности радиопередающих устройств, высот подвеса антенн, типа застройки района, типа абонентских станций и диапазона рабочих частот. Усредненные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Средние значения размеров зон обслуживания

Тип застройки района	Ориентировочные значения радиусов зон обслуживания объектов связи		
	Стационарные объекты	Мобильные объекты	Носимые объекты
Сельская местность и малоэтажная застройка	60-80 км	20-50 км	5-30 км
Среднеэтажная застройка	40-60 км	15-30 км	4-20 км
Многоэтажная застройка	20-40 км	7-15 км	2-10 км

Используя усредненные данные о размерах зон обслуживания, на основе детального анализа топографии местности, производят предварительную привязку базовых станций (БС) проектируемой системы и определяют их ориентировочное количество. Топографическую привязку БС необходимо осуществлять с учетом преобладающих высот и наличия высотных сооружений. Наиболее приемлемыми для размещения антенно-фидерных устройств являются крыши административных зданий и высотные антенные опоры.

Важным этапом предварительного проектирования системы является проведение маркетинговых исследований по конъюнктуре рынка, планирование возможных категорий и количества потенциальных пользователей. Прогноз числа потенциальных пользователей для оптимизации структурной реализации сети целесообразно проводить не по Системе в целом, а по зонам обслуживания и по этапам реализации системы с учетом темпов роста емкости сети. Правильное прогнозирование возможных категорий пользователей позволяет четко сформулировать требования к системе по набору сервисных функций и возможности подключения дополнительного оборудования. Рациональное решение этих вопросов способно привлечь многих потенциальных пользователей, которые смогли бы с минимальными затратами стать абонентами современной сети радиосвязи, грешить все проблемы оснащения своих подразделений мобильной радиосвязью, организовать их гибкое взаимодействие на всех уровнях и решить еще целый ряд проблем, связанных с отсутствием надежной мобильной радиосвязи. Число каналов на каждой станции определяют исходя из планируемой емкости сети в соответствии с таблицей 3.

На основании этих данных производится технико-экономическое обоснование (ТЭО) выбора стандарта и базового варианта реализации системы транкинговой связи. Выбор базового варианта и стандарта должен основываться, прежде всего, на соответствии технических возможностей проектируемой системы требуемым (максимальная емкость системы, возможное количество зон обслуживания и каналов, набор сервисных функций, подключение к телефонной сети общего пользования и т.д.). На данном этапе особое внимание следует уделить вопросам, связанным с инвестициями в реализацию проекта и эксплуатационными издержками. Анализ вариантов реализации системы с точки зрения инвестиций необходимо проводить, учи-

тывая не только стоимость оборудования, но и затраты на аппаратную и программную модернизацию системы, наращивание ее емкости. Для этого необходимо определить, например, стоимость одного канала при наращивании базового комплекта. При оценке эксплуатационных издержек необходимо обратить внимание на возможность работы оборудования в необслуживаемом режиме и в неотапливаемых помещениях. В частности, возможность установки оборудования (особенно малокабельного) в контейнерах позволяет дополнительно снизить эксплуатационные издержки. Таким образом, проведенное ТЭО должно обеспечить возможность обоснованного выбора стандарта и характеристик базового варианта реализации системы транкинговой связи.

По результатам обоснования базового варианта территориальной реализации системы необходимо провести анализ и синтез зон обслуживания ее элементов. На этом этапе производится расчет зон уверенной двухсторонней связи для заданного качества приема. При этом наиболее высокое качество обслуживания достигается в зонах, границы которых определяются исходя из превышения сигналом уровня чувствительности радиоприемника в 99% мест, 99% времени.

Однако с практической точки зрения при планировании конфигураций зон обслуживания можно ожидать:

- отличного качества обслуживания в зоне, границы которой определяются исходя из ожидаемого превышения сигналом уровня чувствительности в 95% мест и 95% времени (вероятность устойчивой двухсторонней связи 0.9);
- хорошего либо удовлетворительного качества обслуживания в зоне, границы которой определяются исходя из ожидаемого превышения сигналом уровня чувствительности в 90% мест и 90% времени (вероятность устойчивой двухсторонней связи 0.8).

Таблица 3 — Число каналов базовой станции

Количество каналов БС	Время ожидания очереди, с.	Время разговора, с.	Расчетное число абонентов на 1 канал при заданной вероятности ожидания в очереди			
			P=0,01	P=0,05	P=0,10	P=0,20
4(3+1)	10	30	69	122	157	202
		60	29	54	70	92
		90	18	34	45	59
		120	13	25	33	44
	20	30	90	151	187	230
		60	34	61	78	101
		90	20	37	48	63
		120	14	27	35	46
8(7+1)	10	30	360	479	545	620
		60	158	216	249	289
		90	101	139	161	188
		120	74	102	118	139
	20	30	438	555	612	676
		60	180	239	272	310
		90	110	149	171	198
		120	79	108	124	144
12(11+1)	10	30	726	889	972	1065
		60	324	406	451	503
		90	206	261	291	327
		120	151	192	214	241
	20	30	854	998	1066	1138
		60	363	444	486	532
		90	224	280	309	342
		120	162	203	225	251
16(15+1)	10	30	1125	1319	1415	1521
		60	506	608	662	722
		90	324	392	428	470
		120	237	288	316	348
	20	30	1292	1454	1530	1607
		60	562	659	707	760
		90	350	418	452	491
		120	253	304	331	361

Расчет ведется исходя из эффективной излучаемой мощности радиопередающих устройств, высот подвеса антенн, топографических и электрических неоднородностей местности, а также затуханий, вносимых городской застройкой и расти-

тельностью. При создании многозоновых систем особое значение приобретает синтез зон обслуживания для обеспечения полного покрытия излучением значительных территорий. Обеспечение заданных конфигураций зон обслуживания осуществляется путем варьирования мощностью и высотой подвеса антенны, и, главным образом, за счет применения антенн с требуемой диаграммой направленности.

В результате этих расчетов и оценок уточняется базовый вариант территориальной реализации системы на основании которого в дальнейшем производится частотное планирование сети. Методика расчета зон обслуживания и основы частотно-территориального планирования систем подвижной радиосвязи приведены в следующем разделе.

Разработанный частотно-территориальный план является основой для дальнейшего проектирования сети. Он определяет места установки и типы антенн, мощности передатчиков и частотные присвоения. В большинстве случаев местами установки антенн базовых станций являются крыши высотных зданий или существующие антенные вышки. В этом случае часто приходится сталкиваться с проблемой электромагнитной совместимости размещаемого оборудования и других радиотехнических средств, установленных в том же месте. Проблема обеспечения межсистемной ЭМС может решаться за счет частотного и территориального разнесения РЭС, изменения ориентации и поляризации антенн, применения узкополосных режекторных и полосовых фильтров и другими организационно-техническими средствами. На этом этапе целесообразно, на основании материалов о несущих конструкциях и оценки состояния объекта, подготовить необходимую проектную документацию на места установки антенно-фидерных и радиопередающих устройств, согласовать вопросы электро- и пожарной безопасности, места прокладки силовых и антенных кабелей.

Кроме проблем электромагнитной совместимости, особенности технологии решения которых применительно к проектированию систем радиотранкинга кратко будут рассмотрены ниже, при проектировании необходимо решить вопросы безопасности населения и обслуживающего персонала. Электромагнитные поля, воздействуя на организм человека, приводят к нарушению деятельности центральной нервной и эндокринной систем, а также системы кровоснабжения. Методика опре-

деления размеров санитарно-защитных зон и зон ограниченной застройки приведена ниже. В случае невыполнения санитарных норм безопасность населения можно обеспечить за счет уменьшения мощности излучения или изменения диаграмм направленности антенн.

При проектировании системы транкинговой связи необходимо разработать единую систему нумерации и сигнализации. Особое внимание этим вопросам необходимо уделить при создании многозоновых систем и многоуровневой системы приоритетов и групп пользователей. На этом же этапе необходимо рассмотреть вопросы взаимодействия с телефонными сетями общего пользования и вопросы организации междоновых каналов связи.

В целом, выполненные работы призваны сформировать полное представление о проектируемой системе, ее структурной реализации и взаимодействии отдельных элементов сети, а также принципы эксплуатации системы. Все это обеспечивает возможность разработки окончательного варианта технико-экономического обоснования проекта (отражающего порядок и этапность работ, инвестиции, прогноз текущих расходов и доходов и т.п.), обоснования оптимальной тарифной политики, а также стратегии и тактики выхода на телекоммуникационный рынок.

После ввода в эксплуатацию оборудования системы связи необходимо провести соответствующие испытания оборудования по следующей программе:

1. Проверка оборудования на соответствие нормам монтажа и электро- и пожаробезопасности.
2. Проверка работоспособности и соответствия паспортным данным оборудования базовой и абонентских станций.
3. Анализ электромагнитной обстановки на соответствие санитарным нормам с оформлением санитарного паспорта в установленном порядке.
4. Практическое определение конфигурации зоны обслуживания системы путем контроля качества связи по основным маршрутам.

2.2. Частотно-территориальное планирование сетей транкинговой связи

Общие сведения

Транкинговые системы ориентированы, в первую очередь, на создание локальных сетей диспетчерской радиосвязи и не предусматривают сплошного покрытия территории зонами обслуживания.

В связи с этим, частотно-территориальное планирование (ЧТП) таких систем должно использовать принцип неравномерного распределения радиочастотного ресурса по территории пропорционально концентрации потенциальных абонентов, что является существенным отличием ЧТП транкинговых сетей радиосвязи от ЧТП систем сотовой радиотелефонной связи. Кроме того, концепция распределения частотного ресурса для транкинговых сетей должна обеспечивать:

- постепенное развертывание локальных сетей с группированием каналов;
- гибкость резервирования спектра для будущего наращивания систем в интересах реализации дополнительных возможностей действующих операторов и удовлетворения заявок на создание систем новыми операторами;
- возможность резервирования частотно-территориального ресурса для оперативного развертывания систем транкинговой радиосвязи на временной основе в чрезвычайных ситуациях, при поддержке сезонных работ, для проведения природоохранных мероприятий и т.п.

С учетом вышеизложенного, частотно-территориальное планирование транкинговых сетей радиосвязи должно быть основано на:

- применении в локальных сетях транкинговой радиосвязи малоканального оборудования (от 2-4 до 16-32 каналов, в зависимости от предполагаемой загрузки), обеспечивающего обслуживание каждой сетью от 100-200 до 1500-3000 абонентов соответственно;
- отказе от сплошного перспективного частотно-территориального планирования транкинговых сетей в выделенной полосе частот в пользу использования следующих видов локального планирования:

- а) первичного частотно-территориального планирования транкинговых сетей крупных городов и прилегающих к ним территорий;
 - б) оперативного частотно-территориального планирования при развитии сетей по территории на принципах локального частотного планирования с использованием резерва радиочастотного ресурса в выделенных полосах частот;
 - в) особых методов и приемов частотно-территориального планирования в приграничной зоне, например микрозонового метода, минимизирующего объем координационных процедур за счет вариаций мощностями передатчиков, расстояниями до границы и направленными свойствами антенн базовых станций;
- обеспечении возможностей трассового частотно-территориального планирования с максимальной повторяемостью частот вдоль трассы и возможностью связи между зонами вдоль транспортных магистралей.

Основные положения частотно-территориального планирования сетей транкинговой радиосвязи

Основные цели частотно-территориального планирования транкинговых сетей связи заключаются в следующем:

- в обеспечении охвата требуемой территории зонами обслуживания с заданным качеством связи;
- в обеспечении требуемой емкости сети для обслуживания абонентской нагрузки с заданной интенсивностью потерь и минимизации занимаемого частотного ресурса;
- в исключении внутрисистемных взаимных помех при многозоновом построении системы;
- в обеспечении электромагнитной совместимости систем транкинговой радиосвязи и других радиосистем, например, систем сухопутной подвижной службы (СПС), радиолокационных систем (РЛС), воздушной радионавигационной службы (ВРНС), телевидения и др.

Частотно-территориальное планирование транкинговых сетей связи включает:

- разработку плана размещения базовых станций;
- определения числа ретрансляторных каналов для каждой базовой станции;
- расчет зоны обслуживания и зоны помех для каждой базовой станции;
- разработку частотного плана распределения выделенных радиоканалов для каждой базовой станции;
- адаптацию частотного плана с учетом частотно-территориальных ограничений требуемой зоны обслуживания.

Группирование частотных каналов сетей транкинговой радиосвязи

В соответствии с рекомендациями СЕРТ 25-08 для транкинговых сетей радиосвязи, использующих двухчастотные симплексные радиоканалы, должен выбираться следующий частотный разнос между каналами передачи и приема:

- для диапазона 160 МГц - 4,6 МГц
- для диапазона 450 МГц - 10,0 МГц;
- для диапазона 900 МГц - 45,0 МГц.

При этом частоты передачи базовых станций должны выбираться более высокими, чем частоты передачи мобильных станций.

В соответствии с рекомендациями фирм-производителей оборудования для сетей транкинговой связи межканальный интервал для базовой станции должен составлять 200-300 кГц. При выборе межканального интервала следует принимать во внимание следующие обстоятельства:

- меньший разнос неоправданно повышает стоимость оборудования, увеличивает потери в комбайнерах и усложняет борьбу с интермодуляционными помехами;
- большой разнос уменьшает возможное количество каналов на базовой станции при ограниченности ширины полос частот, выделенных Администрацией Связи для частотных назначений системам радиотранкинга, и тем самым снижает эффективность использования частотного ресурса; услож-

няет процедуру выделения радиочастотного ресурса для многоканальных систем (16-32 канала) и предъявляет повышенные требования к широкополосности радиотрактов базовых станций;

- неравномерный разнос может приводить к усложнению борьбы с интермодуляционными помехами, затрудняет частотно-территориальное планирование многозоновых систем и также снижает эффективность использования частотного ресурса.

Таким образом, оптимальный частотный разнос каналов для базовых станций составляет порядка 250 кГц.

Исходные данные для частотно-территориального планирования сетей транкинговой радиосвязи

Для проведения частотно-территориального планирования сетей транкинговой радиосвязи необходимы следующие исходные данные:

Список 1 — планируемые сети транкинговой радиосвязи;

Список 2 — сетка частот, разрешенных для использования в сетях транкинговой радиосвязи;

Список 3 — действующие сети транкинговой радиосвязи.

Содержание списка 1:

- порядковый номер сети и наименование пункта установки базовой станции (БС);
- географические координаты БС, определенные по карте масштаба 1:100000;
- категория сети
 - а) сети радиосвязи с выходом на телефонные сети общего пользования;
 - б) сети радиосвязи без выхода на телефонные сети общего пользования;
- параметр неравномерности рельефа местности для, не менее, чем восьми направлений от места установки БС;

- требуемая величина зоны обслуживания;
- технические характеристики базовых и абонентских станций (АС):
 - а) чувствительность приемников;
 - б) мощности передатчиков;
 - в) высоты подвеса антенн;
 - г) коэффициенты усиления антенн относительно полуволнового вибратора;
 - д) потери в фидере и комбайнере базовой станции;
- предпочтительные и (или) запрещенные частоты;
- плоскость поляризации радиоволн;
- направления максимального излучения и формы диаграмм направленности антенн.

Список 2 включает номиналы разрешенных частот, расположенные в порядке возрастания. Каждому ретрансляторному каналу присваивается порядковый номер, состоящий из двух цифр, первая из которых соответствует номеру блока частот, вторая — номеру частоты в блоке.

Список 3 содержит действующие и (или) предусмотренные ранее разработанными частотными планами БС и стационарные АС сетей транкинговой радиосвязи. В него включаются все БС и стационарные АС региона, рабочие частоты которых совпадают с частотами, разрешенными для разработки частотного плана.

Список 3 должен содержать рабочие частоты БС и параметры станций, предусмотренные списком 1, за исключением предпочтительных и (или) запрещенных частот.

Подготовка исходных данных заканчивается составлением схемы размещения радиосетей транкинговой связи региона, которая представляет собой карту, на которой отмечено местоположение БС и стационарных АС планируемых и действующих сетей.

Для планируемых и действующих сетей должны использоваться различные

обозначения, для направленных антенн на схеме должны быть указаны направления максимального излучения.

Территориальное размещение базовых станций

В соответствии с рекомендациями СЕРТ T/R 25-08 приблизительный радиус зоны обслуживания базовой станции составляет:

- для диапазона 160 МГц — 20 км;
- для диапазона 450 МГц — 10...15 км;
- для диапазона 900 МГц — 5...10 км.

Исходя из этого производится предварительное территориальное размещение базовых станций с учетом полного или частичного покрытия планируемой зоны обслуживания и использования одно- или многозоновой системы транкинговой радиосвязи. При территориальном размещении должны выполняться рекомендации фирм-производителей оборудования по частотно-пространственному разнесу близкорасположенных антенн базовых станций.

Определение числа ретрансляторных каналов для базовых станций

Исходя из планируемого распределения абонентской нагрузки в пределах зоны обслуживания сети транкинговой радиосвязи осуществляется определение количества ретрансляторных каналов, задействованных на каждой базовой станции, из расчета 80...100 абонентов на один канал. При уточнении числа возможных абонентов системы следует дополнительно учесть возможность использования в некоторых сетях контрольного канала (из числа выделенных), обеспечивающего более оперативное вхождение в связь.

Определение зоны обслуживания базовой станции

Для определения зоны обслуживания базовой станции необходимо выполнить следующие процедуры.

1. Определить эффективно излучаемую мощность передатчика БС.

$$P_{EBS} = P_{BS} - \Delta P_F - \Delta P_K + G_{0BS}$$

где P_{BS} — мощность передатчика базовой станции, дБкВт;

ΔP_F — потери в фидере, дБ;

ΔP_K — потери в комбайнере, дБ;

G_{0BS} — коэффициент усиления антенны базовой станции относительно полуволнового вибратора, дБ.

2. Определить параметр Δh , характеризующий неравномерность рельефа местности для не менее чем восьми направлений от места установки базовой станции. Параметр Δh определяется по профилю трассы как разность уровней местности, превышаемых на 10% и 90% длины участка трассы протяженностью 30 км в выбранном направлении. Ориентировочно значение Δh может быть определено по разности ΔH максимальной и минимальной высотных отметок местности на трассе распространения в выбранном направлении

$$\Delta h = 0,43 \Delta H .$$

3. Определить эффективную высоту передающей антенны базовой станции для, не менее, чем восьми направлений.

$$h_{EBS} = h_{BS} - h_{SR} ,$$

где h_{BS} — высота подвеса антенны базовой станции относительно уровня моря;

$h_{SR} = \frac{\sum_{i=0}^{56} h_i}{57}$ — средний уровень местности относительно уровня моря по высотам h_i на удалении $1000+250i$ метров от базовой станции в выбранном направлении.

4. Определить медианное значение минимальной напряженности поля сигнала для абонентской станции для, не менее, чем восьми направлений от базовой станции.

$$E_{MINAS} = E_{AS} + K_0\sigma - P_{EBS} + \Delta E_{\Delta h} + \Delta E_{SN} + G_{BS}$$

где E_{AS} — напряженность поля, соответствующая чувствительности приемника абонентской станции при заданном типе антенны, дБмкВ/м:

$$E_{AS} = 20 \lg \left(\frac{U_{PR}}{l_d} \right);$$

U_{PR} — чувствительность приемника, мкВ;

l_d — действующая длина приемной антенны, м:

$$l_d = \lambda \frac{\sqrt{1,64 G_{AS} R_{in} / 120}}{2\pi};$$

R_{in} — входное сопротивление приемника, Ом;

K_0 — коэффициент логнормального распределения, зависящий от требуемой надежности связи по времени P_T и месту P_D соответственно (приведены в таблице 4);

$$\sigma = \sqrt{\sigma_D^2 + \sigma_T^2};$$

σ_T и σ_D — стандартные отклонения сигнала по времени и месту, соответственно, дБ (приведены в таблице 5);

$\Delta E_{\Delta h}$ — поправка на неравномерность рельефа местности в выбранном направлении (определяется в соответствии с рекомендациями МККР 370-6);

ΔE_{SN} — поправка на снижение антенны абонентской станции с 10 до 3 метров (определяется в соответствии с рекомендациями МККР 370-6);

G_{BS} — поправка на уменьшение коэффициента усиления антенны базовой станции для выбранного направления.

Таблица 4 — Логарифмически нормальное распределение

P_T, P_D	0,01	0,05	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	0,95	0,99
K_0	-2,3	-1,64	-1,28	-0,84	-0,53	0	0,53	0,84	1,28	1,64	2,3

Таблица 5 — Стандартные отклонения сигнала

Полоса частот, МГц	σ_D , дБ			σ_T , дБ				
300-3000	$\Delta h = 50$	$\Delta h = 150$	$\Delta h = 300$	d , км	50	100	150	175
	10	15	18	суша	2	5	7	
30-300	8			суша	3	7	9	11

5. Определить расстояние до границы зоны обслуживания базовой станции для выбранных направлений в соответствии с кривыми распространения радиоволн, соответствующими 50% мест и 50% времени превышения заданного уровня (рекомендации МККР 370-6), а также определенными ранее эффективной высотой передающей антенны базовой станции и медианным значением минимальной напряженности поля сигнала для абонентской станции.

Зона обслуживания базовой станции получается путем соединения плавной линией полученных границ для выбранных направлений от базовой станции.

Определение зоны помех базовой станции

Для определения зоны помех базовой станции необходимо выполнить следующие процедуры.

1. Определить допустимую напряженность поля помех, создаваемых базовой станцией для, не менее, чем восьми направлений от базовой станции

$$E_{IBS} = E_A + K_0 \sigma - (A_0 + K_E \sigma_E) - P_{EBS} + \Delta E_{\Delta h} + \Delta E_{SN} + G_{BS},$$

где K_E — коэффициент логнормального распределения, зависящий от требуемой вероятности электромагнитной совместимости;

$$\sigma_E = \sqrt{2\sigma_D^2 + 2\sigma_T^2};$$

A_0 — защитное отношение, равное 15 дБ для сетей первой категории и 8 дБ для сетей связи второй категории.

2. Определить расстояние до границы зоны помех базовой станции для выбранных направлений в соответствии с кривыми распространения радиоволн, соответствующими 50% мест и 50% времени превышения заданного уровня (рекомендации МККР 370-6), и определенными ранее эффективной высотой передающей антенны базовой станции и допустимой напряженностью поля помех.

Зона помех базовой станции получается путем соединения плавной линией полученных границ для выбранных направлений от базовой станции.

Частотное планирование сетей транкинговой радиосвязи

Для частотного планирования сетей транкинговой радиосвязи необходимо:

- выделить регионы планирования и определить очередность их рассмотрения;
- для каждого региона планирования произвести анализ электромагнитной совместимости;
- для каждого региона планирования произвести назначение частот сетям транкинговой радиосвязи;
- составить частотно-территориальный план с указанием порядкового номера, принадлежности и места установки базовых станций, назначенных частот для базовых станций, технических характеристик абонентских и базовых станций (мощность передатчика, высота подвеса, коэффициент усиления и направление максимального излучения антенны базовой станции).

Выделение регионов планирования

При расположении планируемых радиосетей на большой территории должна быть проверена возможность выделения регионов, радиосети которых не оказывают

или почти не оказывают помех друг другу. Разработка частотных планов регионов производится независимо, что значительно упрощает решение задачи частотного планирования. Регионы могут планироваться независимо, если их стационарные станции отстоят друг от друга на 200 и более километров. Расстояния между отдельными стационарными станциями регионов могут быть и менее 200 км, однако количество таких пар не должно превышать числа ретрансляторных каналов, разрешенных для разработки частотно-территориального плана. Планирование должно начинаться с наиболее насыщенного радиосетями региона: при планировании последующих регионов учитываются, при необходимости, отдельные помехи от стационарных станций ранее спланированного региона посредством указания запрещенных частот.

Анализ электромагнитной совместимости в регионе планирования

Анализ электромагнитной совместимости совокупности действующих и планируемых сетей транкинговой радиосвязи производится на основании:

- выявления фактов перекрытия зон обслуживания и зон помех соответствующих сетей связи. Результаты анализа представляются в виде 2-х таблиц: "Разрешенные каналы" и "Ограничения";
- прогноза непреднамеренных радиопомех от проектируемой сети действующим и радиосистемам, функционирующим в выделенном диапазоне частот на совмещенной либо вторичной основе (СПС, РЛС, ВРНС, телевидение и др.).

Таблица "Разрешенные каналы" содержит перечень номеров планируемых сетей транкинговой радиосвязи региона и номеров разрешенных для разработки частотного плана ретрансляторных каналов. Знаком X в таблице отмечаются частоты, которые не могут быть назначены соответствующей радиосети из-за несовместимости с действующими сетями транкинговой радиосвязи (имеется пересечение соответствующих зон обслуживания и помех). В таблице используется нумерация сетей, принятая в исходных данных (список 1); разрешенные для планирования частоты

представляются номерами частотных каналов, состоящих из двух цифр, разделенных точкой. Первая цифра соответствует номеру частотного блока, вторая - номеру частоты в блоке, (пример заполнения таблицы "Разрешенные каналы приведен ниже).

Таблица "Ограничения" содержит для каждой планируемой сети номера планируемых сетей, находящихся с ней в помеховом взаимодействии (пример заполнения таблицы "Ограничения" приведен ниже).

Таблица 6 — Разрешенные каналы

Номера каналов	Планируемые сети										
	1	2	3	4	5	в	7	8	9	10	11
1.1	X	X		X		X				X	
1.2			X	X	X	X					X
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2.1		X	X			X		X			
2.2	X		X		X					X	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Таблица 7 — Ограничения

Номер планируемой сети	Номера планируемых сетей, связанных с планируемыми ограничениями
1	2; 4; 6
2	1;4
3	5; 4; 6
4	1;2;3
5	3
6	3

Формирование очереди планируемых сетей

Очередь формируется с учетом трудности подбора для каждой из планируемых сетей совместимых частот. Для этого определяется параметр трудности заявки для i -той сети

$$T(i) = \frac{JN}{N_p}.$$

где J — число ограничений равное числу мешающих сетей для 1-той планируемой сети (определяется по данным таблицы "Ограничения");

N — число выделенных для частотного планирования каналов;

N_p — число каналов, из числа выделенных, разрешенных для i -той сети (определяется по данным таблицы "Разрешенные каналы").

Планируемые сети устанавливаются в очередь в порядке уменьшения их трудности.

Формирование очереди частот

Частотные каналы в очереди располагается поблочно в порядке возрастания номеров блоков, очередность внутри блоков соблюдается в порядке возрастания номеров частот. Если имеется необходимость в предпочтительном использовании частот (например, в приграничных районах), то планируемым сетям следует пытаться в первую очередь назначить эти частоты, т.е. поместить их в начало очереди.

Назначение частот для базовых станций сетей транкинговой радиосвязи

Для назначения частотных каналов на базовых станциях необходимо осуществить следующие процедуры.

1. Выбрать очередную сеть из очереди сетей.
2. Выбрать очередной блок частот из очереди частот.
3. Если количество разрешенных для выбранной сети каналов в выбранном блоке частот менее требуемого числа каналов, операция по процедуре 2 повторяется.
4. Выбирается очередная частота в выбранном блоке частот.
5. В соответствии с таблицей "Разрешенные каналы" проверяется, является ли выбранный канал разрешенным для выбранной сети. Если да, то он назначается ей и помечается для выбранной сети знаком $\overline{\text{II}}$, в противном случае,

- очередь частот в группе просматривается дальше (выполняются процедуры 4 и 5).
6. Выполняются процедуры 4 и 5 до тех пор, пока выбранной сети не будет назначено требуемое количество каналов.
 7. Вносятся коррективы в таблице "Разрешенные каналы". Для каждой из планируемых сетей, связанных с выбранной ограничениями, становятся запрещенными и помечаются знаком X частотные каналы, назначенные выбранной сети транкинговой радиосвязи.
 8. Если выбранная сеть входит в совокупность сетей, которые должны использовать каналы одного блока частот, то для остальных сетей данной совокупности становятся запрещенными все каналы, не входящие в тот блок частот, из которого назначены каналы для выбранной сети. Сети рассматриваемой совокупности сетей перемещаются в начало очереди в порядке уменьшения их параметра трудности $T(i)$, и затем производится назначение частот в соответствии с процедурами 1-7. Если назначение частот для всех сетей рассматриваемой совокупности невозможно, то повторяются процедуры 1-7 назначения каналов для сети, первой в очереди и входящей в данную совокупность сетей.
 9. Повторяется процедуры 1-7 до исчерпания очереди сетей.

Адаптация частотного плана с учетом частотно-территориальных ограничений зоны обслуживания

Частотно-территориальные ограничения зоны обслуживания существуют:

- в приграничных районах, если зоны помех пересекают государственную границу;
- в приграничных районах, если зона помех радиосредства соответствующего диапазона частот, принадлежащего сопредельной стороне, пересекает зону обслуживания сети транкинговой радиосвязи;
- в районах, где имеется перекрытие зоны обслуживания сети транкинговой радиосвязи с зоной помех другого радиосредства соответствующего диапа-

зона частот.

Для адаптации частотного плана к частотно-территориальным ограничениям зоны обслуживания необходимо:

- выявить помехоопасные пары путем определения факта перекрытия зон обслуживания и зон помех соответствующих радиосредств;
- провести анализ частотных присвоений в помехоопасных парах с целью выявления факта использования одних и тех же частот;
- при наличии одинаковых частотных присвоений в помехоопасных парах провести коррекцию частотного плана транкинговой сети связи с целью исключения использования одних и тех же частот, либо рассматривать иные варианты обеспечения электромагнитной совместимости РЭС (при конфликте с частотными присвоениями иных радиосистем и радиосетей).

2.3. Методики оценки санитарно-защитных зон и зон ограниченной застройки

С целью оценки возможного воздействия электромагнитного излучения на здоровье населения и в соответствии с «Государственными санитарными нормами защиты населения от воздействия электромагнитных полей» (приказ МОЗ Украины №239 от 01.08.1996), проектная документация радиотехнического объекта должна содержать результаты расчета границ санитарно-защитной зоны и зоны ограниченной застройки.

Санитарно-защитной зоной (СЗЗ) является площадь, примыкающая к технической территории радиотехнического объекта, внешняя граница которой определяется на высоте 2 м. от поверхности земли по значению предельно допустимого уровня напряженности электромагнитного поля (ЭМП).

Зоной ограничения застройки (ЗОЗ) является территория, где на высоте более

2м от поверхности земли превышаются предельно допустимые уровни. Внешняя граница зоны ограничения застройки определяется по максимальной высоте зданий перспективной застройки, на уровне верхнего этажа которых уровни ЭМП не превышают предельно допустимых значений.

Границы СЗЗ и ЗОЗ зависят от диапазона рабочих частот, суммарной эффективной излучаемой мощности, диаграммы направленности и высоты подвеса антенны, а также характера подстилающей поверхности.

Дальность до границы СЗЗ и ЗОЗ для диапазона частот 300-3000 МГц определяется следующим образом:

$$R(\theta, \varphi) = \sqrt{\frac{8 \cdot P \cdot G \cdot \eta}{P_{\text{пду}}}} \cdot K_{\Phi} \cdot F(\theta) \cdot F(\varphi),$$

где $R(\theta, \varphi)$ — расчетная дальность до границы СЗЗ и ЗОЗ, м;

P — мощность на выходе радиопередающего устройства, Вт;

G — коэффициент усиления антенны;

η — коэффициент потерь мощности в антенно-фидерном тракте;

$F(\theta)$ — нормированная диаграмма направленности антенны в вертикальной плоскости;

$F(\varphi)$ — нормированная диаграмма направленности антенны в горизонтальной плоскости;

$P_{\text{пду}}$ — предельно допустимое значение плотности потока мощности электромагнитного поля, мкВт/см²;

K_{Φ} — множитель, учитывающий влияние подстилающей поверхности.

Значения предельно допустимой напряженности электромагнитного поля и плотности потока мощности определяется в зависимости от частотного диапазона в соответствии с таблицей 7.

Таблица 8 — Предельно допустимые напряженности ЭМП

Диапазон частот	30...300 кГц	0,3...3 МГц	3...30 МГц	30...300 МГц	0,3...300 ГГц
Предельно допустимое значение	25 В/м	15 В/м	10 В/м	3 В/м	2,5 мкВт/см ²

Обычно используется паспортная или измеренная диаграмма направленности антенны. В случае отсутствия этих данных может применяться модель ДН антенны, описываемая, например, формулой

$$F(\theta) = \exp \left[-0,69 \left(\frac{\theta}{\theta_{0,5}} \right)^2 \right],$$

где $\theta_{0,5}$ — ширина ДН по мощности на уровне 0,5.

Коэффициент потерь мощности в антенно-фидерном тракте определяется по следующей формуле:

$$\eta = 1 - \frac{K_C - 1}{K_C + 1},$$

где K_C — коэффициент стоячей волны.

Множитель, учитывающий влияние подстилающей поверхности (K_Φ), берется в пределах 1,15...1,3.

3. Порядок выполнения контрольной работы

- 3.1. Контрольная работа оформляется либо в тетради, либо на листах формата А4.
- 3.2. Записать исходные данные по контрольной работе.
- 3.3. Выбрать систему транкинговой связи и привести ее описание.
- 3.4. Выбрать диапазон частот функционирования транкинговой связи.
- 3.5. Выбрать ориентировочно размеры зоны обслуживания каждой БС.
- 3.6. Определить количество каналов каждой БС.
- 3.7. Рассчитать размеры зоны обслуживания одной БС в соответствии с реальной топографией местности проживания студента.
- 3.8. Рассчитать размеры зоны помех, создаваемой БС.
- 3.9. Провести анализ электромагнитной совместимости в зоне действия БС.
- 3.10. Определить размеры санитарно-защитных зон и зон ограниченной застройки.

Библиографический список

1. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. - М: Эко-Трендз. 1997.
2. Соловьев А.А., Смирнов С.И. Техническая энциклопедия пейджинговой связи. - М: Эко-Трендз. 1997.
3. Тамаркин В.М. и др. Транкинговые системы радиосвязи. - М: Эко-Трендз. 1997.