

3.4. Автоматизация управления использованием радиочастотного спектра

3.4.1. Общие задачи автоматизации управления использованием спектра

Если объем информации велик, а требования в отношении аналитических исследований сложны и разнообразны, применение методов автоматизации становится необходимостью. Автоматизация может также улучшить внедрение методов ограниченного анализа и баз данных. Компьютерные системы располагают средствами, позволяющими хранить данные в легкодоступной форме, а также обрабатывать их, выдавать отчеты, касающиеся этих данных, и выполнять численный анализ показателей ЭМС [53–59].

В последние годы стали широко использовать компьютерные системы на основе персональных компьютеров (ПК), которые обрабатывают большие массивы данных или выполняют сложные задачи численного анализа при решении различных задач в области связи и радиосвязи, в частности. Благодаря последним технологическим разработкам снизилась стоимость компьютерных систем, существенно увеличились их вычислительные возможности, и стало возможным широко применять компьютерные методы для целей управления использованием спектра (УИС).

В зависимости от размера, частоты и сложности процесса УИС компьютерные системы следует применять частично или полностью во всех видах работ по УИС на национальном уровне. В общем случае потребности разных Администраций в УИС значительно различаются, поэтому каждая Администрация должна располагать (и соответственно создать) собственные базы данных (БД) и условия применения, которые удовлетворяют их конкретные потребности. При определении этих потребностей любая Администрация должна учитывать как национальные потребности в УИС, так и международные соглашения по этому вопросу. Эти БД должны содержать информацию о дислокации всех РЭС, развернутых на территории страны, данные об их технических характеристиках, определяющих ЭМС с другими РЭС, данные об их владельцах, выданных им лицензий и т.д.

Автоматизация может обеспечивать различные функции по УИС, которые включают: присвоения частот; расчеты ЭМС; хранение и обновление БД; лицензирование и сбор платы за лицензии; частотно-территориальное планирование; координацию частот; экспертизу радиочастотных заявок; взаимодействие с системой радиоконтроля; обмен данными по УИС между заинтересованными Администрациями и РЧО.

Автоматизация УИС на практике осуществляется в виде автоматизированных систем УИС (АСУИС) и, как правило, на базе современных компьютерных систем, имеющих достаточные вычислительные ресурсы и возможности подключения необходимых периферийных устройств и средств связи (модем, беспроводный адаптер и т.д.). При этом АСУИС могут быть специализированными, т.е. выполняющими только одну или несколько схожих функций из числа названных выше, или интегрированными, реализующими практически все эти функции.

3.4.2. Преимущества автоматизации УИС

Поскольку с ростом объема данных о действующих в стране РЭС, а также количества и сложности операций, связанных с хранением и обработкой этих данных, расходы на эксплуатацию ручной системы УИС увеличиваются, применение АСУИС становится неизбежным. Важно отметить, что современные компьютерные системы на основе ПК обладают необходимыми возможностями обработки и хранения информации, обеспечивая тем самым высокие эксплуатационные показатели при приемлемых расходах. Переход от ручных к автоматизированным методам анализа имеет многочисленные преимущества и становится необходимым, когда обработка данных касается огромных массивов.

Одной из таких задач является распределение и назначение частотных каналов в больших системах РЭС. При этом такие задачи при ручной реализации приходилось выполнять по упрощенным алгоритмам. Решение подобной задачи в составе АСУИС позволяет использовать значительно более сложные, но и более эффективные алгоритмы назначения частотных каналов. Один из них рассмотрен ниже. Здесь более высокий уровень сложности критерия назначения рабочих частот обусловлен учетом влияния продуктов интермодуляции РЭС, расположенных на одном объекте. Продукты интермодуляции, как известно (см. разд. 3.2.1, 3.2.2 и гл. 7), могут иметь разрушительный характер с точки зрения ЭМО при размещении РЭС на одном объекте. При этом действует следующий критерий выбора: предлагаемая частота не может быть присвоена новому передатчику на данной станции, если какой-либо продукт интермодуляции третьего порядка, образованный любыми частотами, уже присвоенными данной станции, эквивалентен предлагаемой частоте.

На рис. 3.11 представлен возможный метод автоматизации процедуры выбора для данного примера. В этом случае очевидно, что ручное выполнение задачи будет крайне трудоемко, а реализовать эти процедуры даже в небольшой компьютерной системе можно быстро и просто, не внося упрощений в алгоритмы обработки информации.

Другое эффективное применение ПК связано с уточненным учетом реалистических характеристик распространения волн, например учетом влияния земной поверхности. Расчет потерь при распространении, отличном от распространения в свободном пространстве (сферическое расширение), может оказаться сложной задачей. Использование методов определения потерь при распространении в свободном пространстве на расстояния, превышающие расстояния прямой видимости, приводит к неэффективному использованию спектра. Автоматизированные методы расчета потерь с учетом реальных условий (кривизна Земли, препятствия, различные характеристики почвы) позволяют с помощью стандартной программы осуществлять точное прогнозирование распространения радиоволн, повышая тем самым точность результатов анализа ЭМС.

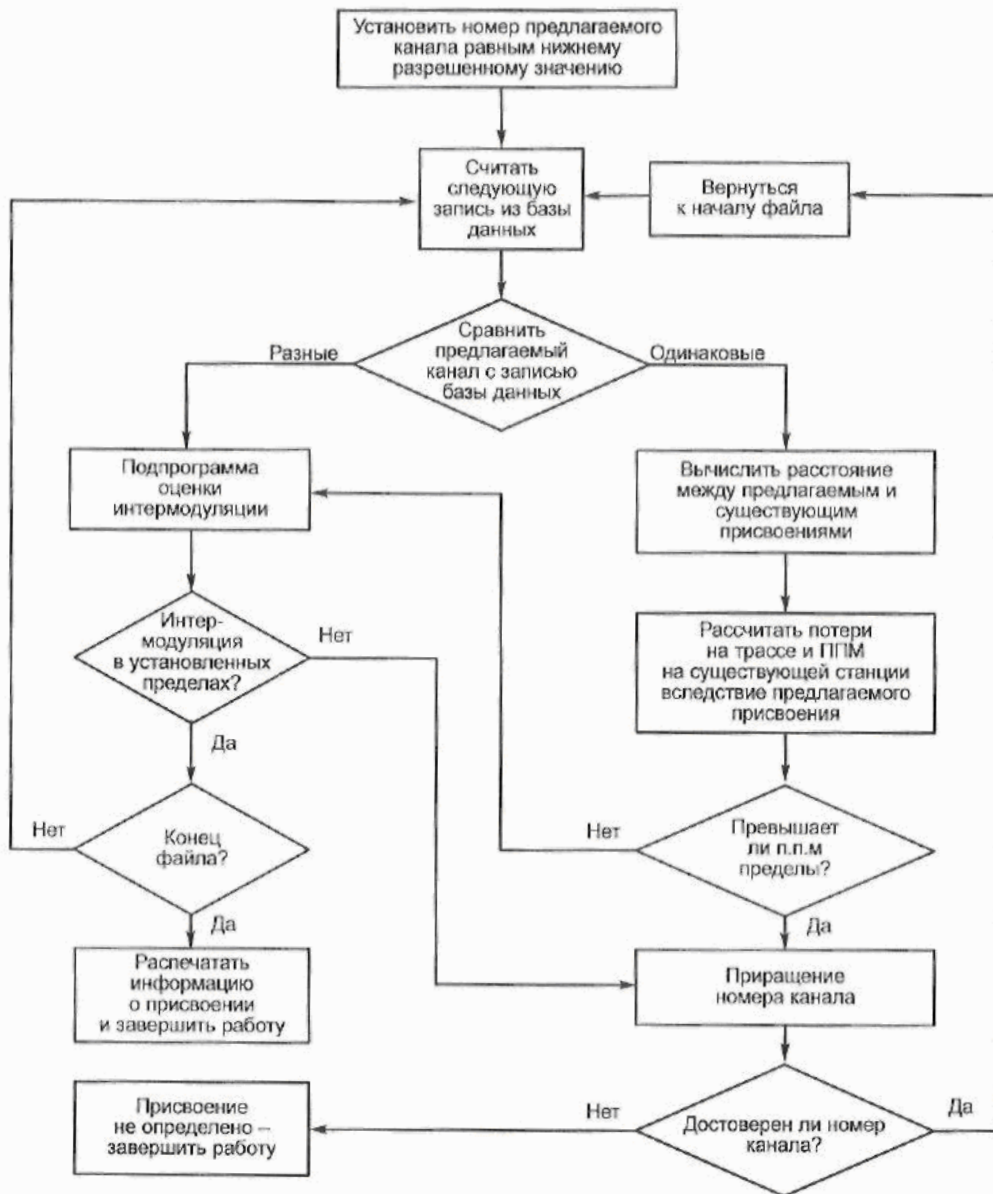


Рис. 3.11. Машинный алгоритм назначения частотных каналов РЭС

В табл. 3.8 в качестве примера представлены результаты автоматизированного расчета потерь передачи радиосигнала в зависимости от длины трассы распространения для гладкой земной поверхности в сравнении с потерями при распространении в свободном пространстве.

Приведенный пример показывает существенную роль точного учета реального механизма распространения радиоволн в расчетах, связанных с решением задач УИС, и целесообразность автоматизации расчетов, поскольку предполагаемый объем вычислений очень велик.

Таблица 3.8. Потери передачи радиосигнала

Расстояние, км	Потери в свободном пространстве, дБ	Потери для гладкой земной поверхности, дБ
1	90,5	90,5
2	96,5	97,5
5	104,5	108,5
10	110,5	119,5
20	116,5	135,5
50	124,5	166,5
100	130,5	212,1

Автоматизированные методы позволяют учитывать статистическую информацию о замираниях ПС и МС и реальные характеристики земной поверхности. Характеристики земной поверхности, как правило, хранятся в банке топографических данных, доступ к которым автоматически предоставляется программе расчета показателей распространения.

Используя хранящиеся данные о земной поверхности, можно построить профиль трассы (рис. 3.12) между двумя любыми географическими точками, включенными в БД с топографическими данными. Такие профили используются для определения характеристик трасс распространения ПС и МС, обусловленных влиянием поверхности Земли, такими, как неровность местности, тип подстилающей поверхности (тип почвы, вода, лес и др.), параметры локальных неоднородностей (искусственных и естественных) в местах расположения передающей и приемной станций.

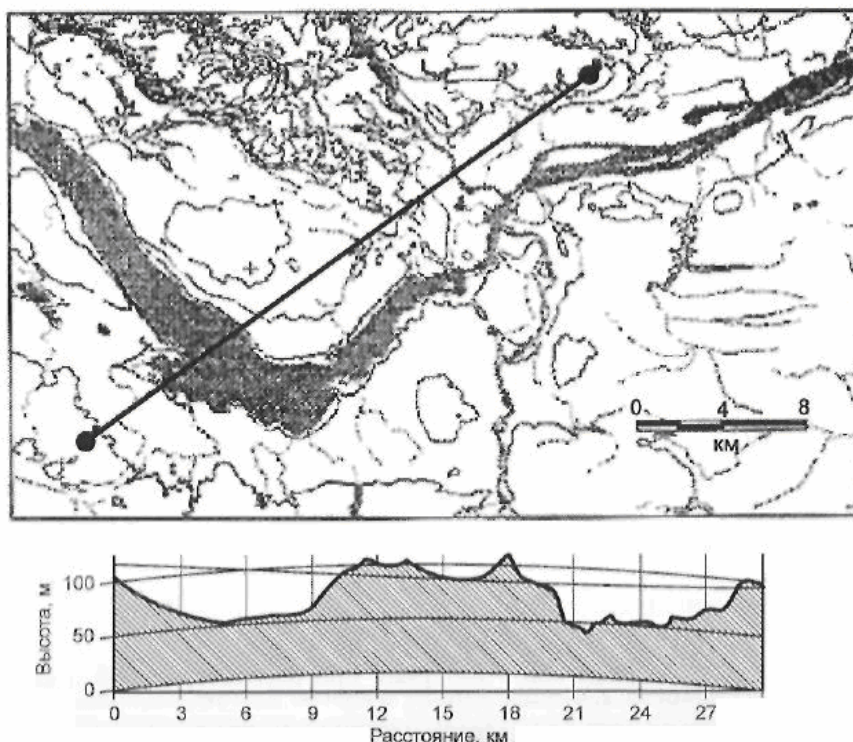


Рис. 3.12. К автоматическому построению профилю трассы

Можно отметить, что процедура построения профиля трассы распространения выполняется по топографическим картам (на бумажном носителе или цифровым картам местности, ЦКМ), имеющих определенное разрешение (точность представления данных). В свою очередь этот показатель связан с масштабом топографических карт и должен составлять по расстоянию не более 50...20 м : 1 см и по высоте не более 3 м : 1 см [33, 58, 59]. На рис. 3.12 показан фрагмент ЦКМ с линией трассы распространения между двумя точками и соответствующий профиль, определенный автоматически.

3.4.3. Общая структура автоматизированной системы УИС

Чтобы оценить применение компьютерных систем в конкретной ситуации по УИМ, следует проанализировать различные типы имеющегося компьютерного оборудования и программного обеспечения. Их использование должно быть внедрено в четко определенную структуру с вполне определенными функциями УИМ на национальном уровне.

На рис. 3.13 показана структура типовой АСУИС. С технической точки зрения АСУИС представляет собой аппаратно-программный комплекс, который включает аппаратные средства вычислительной техники (СВТ) и программное обеспечение (ПО). В состав аппаратных СВТ обычно входят: ПК или локальная вычислительная сеть (ЛВС) из нескольких ПК, сервер(ы) БД (СБД — только для больших БД), периферийные устройства (ПУ), такие, как дисплей, принтер, дополнительные накопители информации, специальные устройства ввода информации и устройства связи (модем, выделенная линия, беспроводный адаптер).

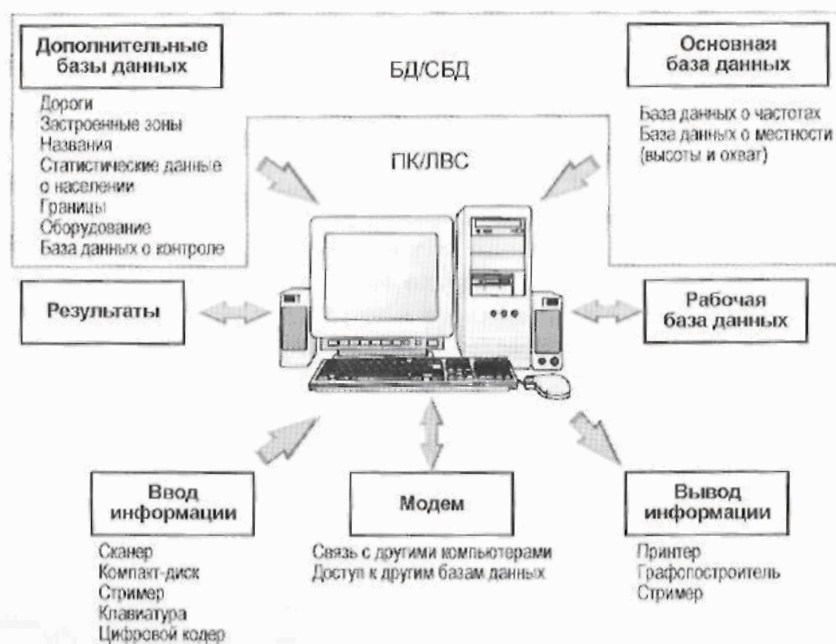


Рис. 3.13. Структура типовой автоматизированной системы УИС

Программное обеспечение состоит из двух частей: операционной системы ПК (ОС) и прикладного ПО, состоящего из управляющей программной системы, реализующей об-

шую концепцию УИС, заложенную в данную АСУИС, и пользовательских программных модулей, которые могут модифицироваться.

Все оборудование АСУИС организуется в виде отдельного автоматизированного рабочего места (АРМ) эксперта-оператора. ЛВС позволяет организовать несколько АРМ, что повышает эффективность использования АСУИС. При ее разработке должны быть определены параметры поступающего в нее потока информации (должно быть ясно, откуда поступают данные, какие операции следует произвести с ними и куда они должны направляться), структура файлов данных, а также записи и поля, подлежащие хранению. Должны быть определены объем данных, частота их обновления и процедуры обновления данных. Рекомендации SM.1048 и SM.1370 МСЭ-Р [53, 54] содержат руководство по разработке структуры БД для базовой и усовершенствованной АСУИС, рекомендуемых МСЭ. Форматы данных также должны быть скоординированы с БР МСЭ (см. Рекомендацию SM.667 МСЭ-Р [55]). Полное описание структуры БД для этих АСУИС представлено в [56]. Аналогичные структуры целесообразно использовать при разработке собственных АСУИС, что существенно облегчит в случае необходимости процедуры обмена данными.

3.4.4. Данные, необходимые для работы АСУИС

Важной частью каждой системы управления использованием спектра является БД с различной информацией. В интересах скорейшего и эффективного с экономической точки зрения применения автоматизации в области УИС рекомендуется, чтобы Администрации включали только те элементы данных, файлы данных и базы данных, которые необходимы для удовлетворения их потребностей по УИС. Необходимо также учитывать список элементов данных, требуемых для международной координации.

В интересах установления общего подхода к сбору, обновлению и поиску данных информация по УИС может включать следующие категории: данные по распределению частот; данные по присвоениям частот; информация о владельце лицензии; данные по характеристикам оборудования; платежи; географические данные о местности в виде цифровых топографических карт местности с необходимым масштабом; данные по координации частот; данные о радиочастотных заявках; данные по контролю частот.

Общее число элементов данных довольно велико. Потребности во многих элементах данных в значительной мере зависят от целей и задач Администрации связи. Например, количество данных, требуемых для проведения значимых и достоверных расчетов ЭМС, возрастает в зависимости от степени перегруженности спектра частот. Это связано с насыщенностью данной страны используемым оборудованием радиосвязи. В большинстве случаев необходимая информация может быть сокращена до ограниченного числа основных элементов данных. Тем самым можно свести массив информации до сотен полей данных для всех файлов [56].

3.4.5. Примеры организации автоматизации УИС

Базовая АСУИС WinBASMS была разработана в соответствии со спецификацией, подготовленной Бюро развития электросвязи (БРЭ) и Бюро радиосвязи (БР) МСЭ на основе Рекомендации МСЭ-R SM.1048 [53]. BASMS является многофункциональной и многоязычной компьютерной программой, обеспечивающей специалистов по УИС автоматизированными средствами поддержки для учета всех лицензий на радиослужбы и связанной с ними техни-

ческой и административной информации; ведения данных по частотным присвоениям и расчетам помех для фиксированной, подвижной, радиовещательной и других подобных служб; координации частот для применений как на национальном, так и на международном уровне; ведения данных о регистрации и заявлениях по оплате лицензий; выдачи лицензий на использование частот на национальном уровне.

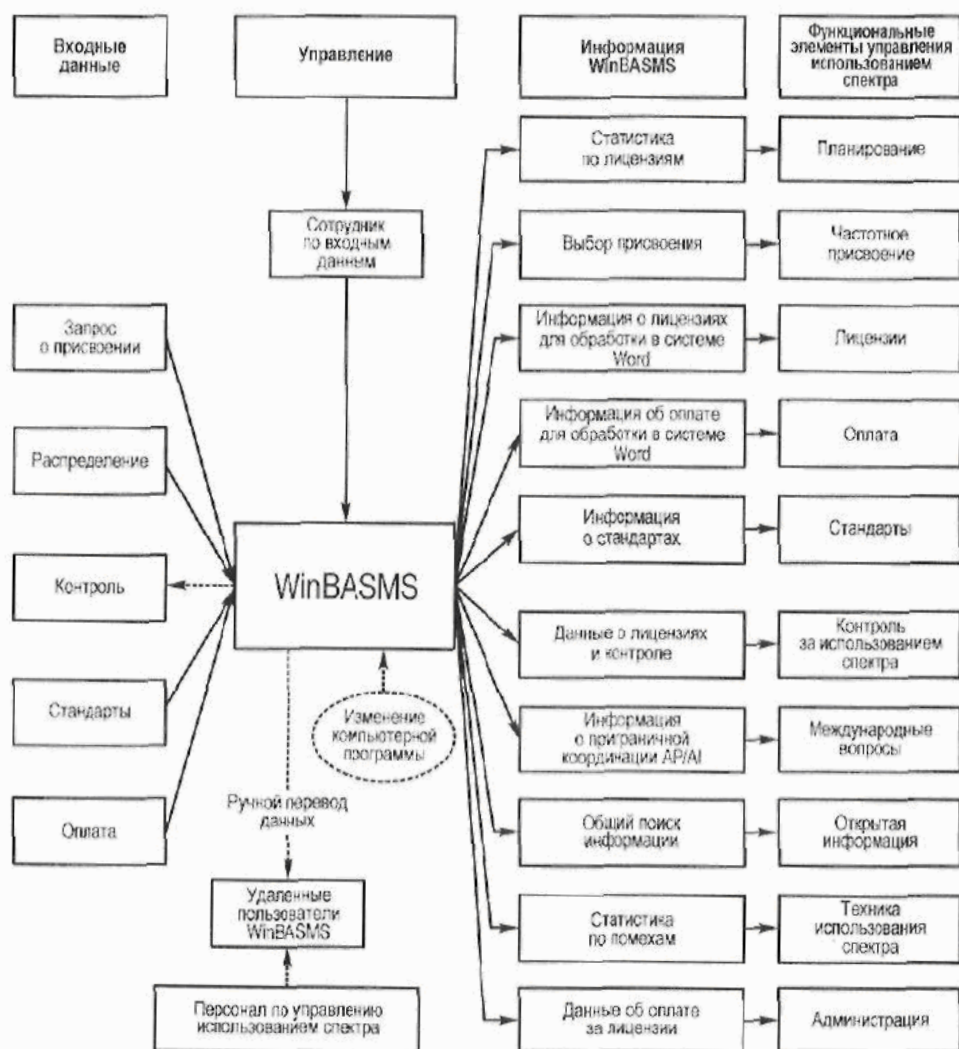


Рис. 3.14. Структура базовой АСУИС WinBASMS

WinBASMS — это автономная компьютерная система для работы в операционной среде Microsoft Windows. Простая в применении и обслуживании, она спроектирована для индивидуального пользователя. Многочисленные копии WinBASMS могут использоваться в рамках организации по управлению использованием спектра для облегчения выполнения различных функциональных требований, описанных в Справочнике МСЭ «Управление использованием спектра на национальном уровне». При проектировании АСУИС выделяются

функции, чаще всего необходимые специалистам по УИС. Эти функции обеспечиваются имеющими широкое применение базовыми методами и процедурами, которые может легко изучить и применять персонал, не прошедший формальной подготовки по вопросам УИС.

На рис. 3.14 приведена блок-схема, иллюстрирующая функциональную взаимосвязь между WinBASMS и УИС. Из рисунка видно, что система WinBASMS может использоваться для выполнения большинства функциональных требований, определенных в Справочнике МСЭ «Управление использованием спектра на национальном уровне».

Возможности системы. В системе обеспечивается:

- создание учетных записей; редактирование и модификация; аннулирование; проверка, резервирование и архивирование данных; запрос данных;
- расчеты помех и выбор частот для нового присвоения в полосе частот выше 30 МГц для систем «точка–многоточка» (радиовещательная и сухопутная подвижная службы) и систем «точка–точка» (НФС);
- поддержка службы лицензирования;
- приграничная координация;
- процедура одобрения типа оборудования;
- составление отчета.

Автоматизированная система анализа ЭМС и экспертизы радиочастотных заявок (РЧЗ) для ФСС. АСУИС [57] учета данных и экспертизы РЧЗ предназначена для проведения анализа ЭМС для РЭС гражданского назначения, работающих в диапазоне выше 1 ГГц (систем радиорелейной связи прямой видимости, радиолокации и земных станций спутниковой связи). Данная система позволяет решать как информационно-поисковые, так и расчетные задачи.

На рис. 3.15 показана функциональная схема АСУИС, позволяющая эксперту РЧО принимать обоснованные решения по вопросам частотного присвоения для РЭС или частотного планирования.

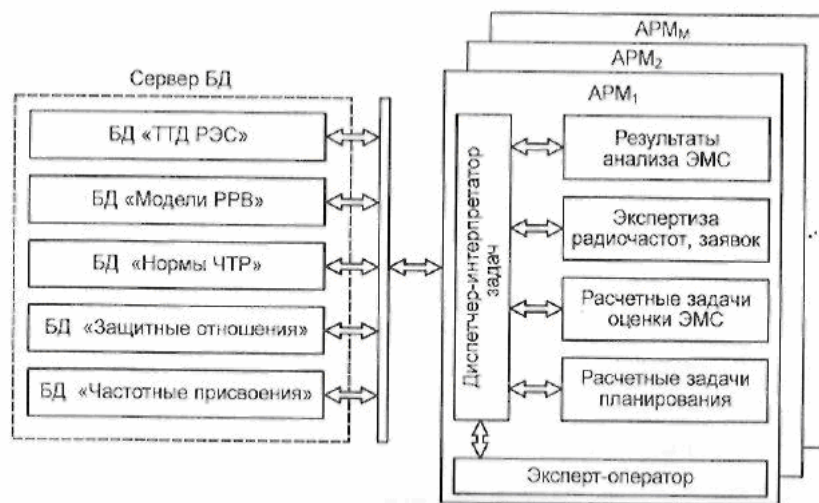


Рис. 3.15. Укрупненная структура АСУИС анализа ЭМС и экспертизы радиочастотных заявок

Информационно-поисковые задачи в данной АСУИС решаются на основе базы данных (БД), содержащей сведения о частотных присвоениях (ЧП): дислокации действующих в

стране РЭС гражданского назначения, параметров, определяющих использование этих РЭС в конкретных местах дислокации (тип оборудования используемых РЭС, высоты подвеса антенн, азимут и угол места установки антенн этих РЭС, используемые частоты, сведения о владельце данных РЭС и т.п.). На основе этих данных в АСУИС решается целый ряд поисковых задач, позволяющих формировать отчеты по сформулированным запросам РЧО, касающихся вопросов эксплуатации РЭС, занесенных в БД.

Из этой схемы видно, что РЧЗ, поступающие в РЧО, проходят контроль содержащихся в них данных, после чего эти данные заносятся в БД. После этого проводится комплекс расчетов, необходимых для анализа ЭМС нового РЭС, занесенного в БД, и тех РЭС, которые были занесены в нее ранее. По результатам проведенных расчетов АСУИС формирует заключение о возможности обеспечения ЭМС нового РЭС, на которое поступила РЧЗ. Это заключение используется РЧО для принятия решения о назначении частотного канала для этого РЭС.

Автоматизированная система анализа ЭМС сотовых и транкинговых сетей подвижной связи и других РЭС. Данная АСУИС предназначена для частотно-территориального планирования сетей сотовой и транкинговой подвижной связи [58] и позволяет оптимизировать использование частотного ресурса в таких сетях. Оптимизация проводится по критерию минимума используемой в сети подвижной связи полосы частот. При этом сеть подвижной связи должна функционировать с требуемым качеством при заданных ограничениях (территориальных, пространственных, нагрузки на БС и др.). Частотно-территориальное планирование таких сетей с помощью разработанной АСУИС осуществляется с использованием ЦКМ, что позволяет учесть с высокой точностью характер и рельеф местности региона, в котором разворачивается проектируемая сеть подвижной связи.

На рис. 3.16 представлен алгоритм частотно-территориального планирования сетей подвижной связи, реализованный на базе системы автоматизированного проектирования сетей СПС с использованием ЦКМ. Алгоритм включает процедуры и результаты работы, которые функционально объединены в этапы планирования.

Задача разработки оптимального частотно-территориального плана (ЧТП) решается методом последовательных приближений, начиная с оценки предварительного ЧТП (с возможностью его получения автоматизированным способом экспресс-анализа без использования ЦКМ) с дальнейшим изменением частотных, энергетических и пространственных параметров РЭС планируемой сети на основе эвристических соображений.

Важным самостоятельным этапом является этап натурных измерений. Современные АСУИС должны иметь возможность использования результатов натурных измерений, поскольку расчетные поля радиопокрытий определены на основе математических моделей распространения радиоволн, которые в ряде случаев требуют коррекции по результатам измерений [59].

На следующем этапе осуществляется подготовка района работ на ЦКМ, редактирование содержимого БД исходных параметров сети подвижной связи и характеристик оборудования и формирование дополнительной информации для ЧТП, а также анализ топологии заявленной сети, технических характеристик оборудования и разработка предварительного ЧТП.

После этого следует этап расчетов, включающий:

- прогноз зон покрытия БС сети подвижной связи с оценкой внутрисистемной ЭМС РЭС;
- прогноз зон покрытия БС сети подвижной связи с оценкой межсистемной ЭМС РЭС с учетом влияния радиопомех от РЭС других сетей и систем (рассчитывается суммарная радиопомеха как от РЭС своей сети, так и от РЭС других назначений);

- прогноз нагрузки БС состоит в расчете: трафика БС, плотности трафика, запаса по нагрузке БС;
- проверку условий, по результатам которой необходимо принять следующие решения:
 - удовлетворяют ли зоны покрытия потребности сети?;
 - возможно ли наращивание емкости сети?;
 - обеспечивает ли разработанный единый ЧТП условия совместной работы с РЭС других сетей связи?

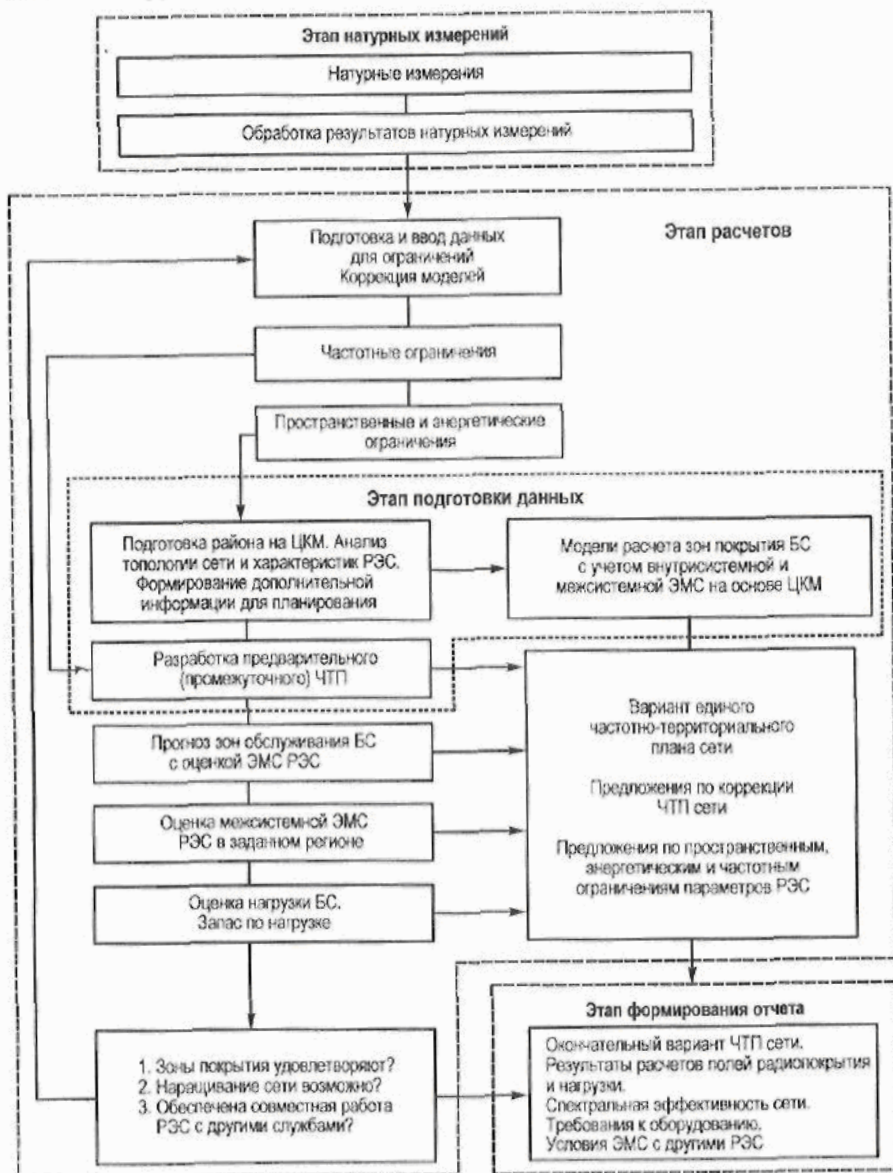


Рис. 3.16. Автоматизированный алгоритм частотно-территориального планирования сетей подвижной связи

При невозможности принятия положительных решений на основе полученных расчетных данных ЧТП корректируется введением пространственных, энергетических и частотных ограничений.

Завершающим этапом частотно-территориального планирования является формирование отчетного документа. Он включает окончательный вариант ЧТП сети и результаты расчетов полей радиопокрытия отдельных БС для разных режимов работы, а также технические требования к оборудованию и условиям совместной работы сети подвижной связи с РЭС других назначений. Кроме того, оценивается показатель спектральной эффективности для каждой БС и для сети в целом.

На рис. 3.17 в качестве примера представлены графики зависимости ТР от обобщенного энергетического параметра Z (см. разд. 3.3.3), рассчитываемые в данной АСУИС по модели Хата и по модели свободного пространства. Графики рис. 3.17 позволяют определить требуемый ТР между станциями сети подвижной связи или РЭС других назначений и станций проектируемой сети подвижной связи.

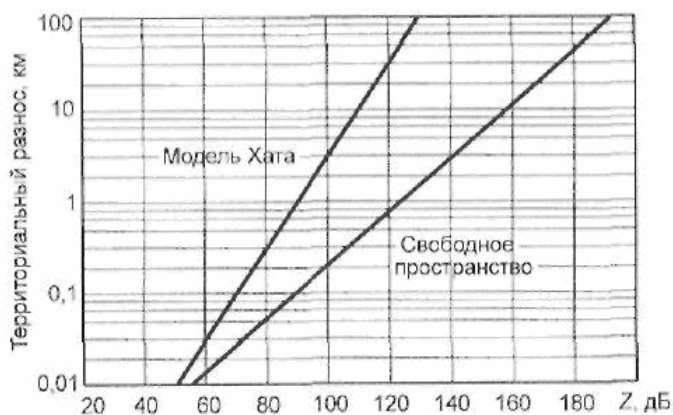


Рис. 3.17. Зависимость территориального разнесения от параметра Z для двух моделей распространения