

РАДИО- ТЕХНИКА

74

148/2007



В. В. ПОПОВСКИЙ, д-р техн. наук, Л. А. ТОКАРЬ
**ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ВЫСВОБОЖДАЕМЫХ
 УЧАСТКОВ ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ**

Введение

Внедрение прогрессивных информационно-телекоммуникационных технологий обуславливает переход ряда операторов (пользователей радиочастотного спектра – РЧС) на новое оборудование подвижной связи, которое либо сможет работать в тех же участках спектра, либо потребует «перемещения» в новые полосы частот. Такой процесс, называемый высвобождением участков спектра, сопровождается перепланированием РЧС и необходимостью разработки соответствующих процедур и методов, как в правовом, так и технико-экономическом аспекте. Быстрый моральный износ радиотехнологий и использование спектра для более совершенных их модификаций заставляет мировое телекоммуникационное сообщество рассматривать перепланирование и высвобождение спектра как один из основных методов управления РЧС. Исследованию этого вопроса уделяется все большее внимание в рабочих группах Международного союза электросвязи и Европейского комитета по электронным средствам связи.

Основы экономического обоснования радиочастотного спектра

Целью перепланирования и высвобождения РЧС является достижение максимальной выгоды общества путем максимизации числа пользователей в выделяемых участках спектра. Основное условие при этом – обеспечение социально-экономических и оборонных нужд страны и требуемого качества работы радиоэлектронных средств (РЭС) различных радиослужб в выделяемых им участках частотных диапазонов.

Высвобождение спектра неизбежно связано с финансовыми затратами операторов, высвобождающих спектр и осваивающих использование различных участков спектра для новых технологий. Для оценки целесообразности высвобождения РЧС и компенсации затрат уходящему из полосы оператору связи необходимо определить стоимость высвобождения РЧС и его перепланирования.

Рассмотрим более подробно основные составляющие, характеризующие экономическую сторону процесса высвобождения. Национальные правовые нормы должны определять принципы и степень компенсации затрат операторам и государству, которые связаны с высвобождением РЧС. Определение необходимости компенсации и формы ее реализации, обоснование возможностей и объем этой компенсации представляют собой трудные задачи, зависящие от прав пользователей на спектр, предоставляемых администрацией при выдаче лицензии; прав на спектр, остающихся у администрации: временных рамок компенсации перепланированной спектра, метода компенсации.

Наиболее распространенными подходами являются: компенсация затрат по утрате стоимости выводимого оператором оборудования; компенсация упущенной выгоды (дохода); компенсация в виде стимулирующих выплат для ускорения перехода оператора связи в другой диапазон частот.

Важным экономическим фактором является стоимость выводимого оборудования оператора при высвобождении участка РЧС. Его можно перепродать или же списать за ненадобностью. Стоимость такого оборудования не должна включаться в расходы на высвобождение спектра. Если же выводимое оборудование не продается, то вся остаточная балансовая стоимость оборудования рассматривается как расходы по высвобождению спектра.

Стоимость высвобождения РЧС при использовании метода, компенсирующего балансовую стоимость оборудования [1, 2]:

$$C_{\text{высв}}(T) = C_{\text{пер}} + C_{\text{бал}}(T) - C_{\text{мид}}(T), \quad (1)$$

где $C_{пер}$ – затраты оператора на перевод своего оборудования в другой диапазон частот или на другую технологию, $C_{бал}(T) = C_{об} - C_{изн}$ – остаточная балансовая стоимость оборудования оператора, выводимого из эксплуатации при переходе на новую технологию

($C_{об} = \sum_{i=1}^m C_{оби}$ – суммарная первоначальная (восстановительная) стоимость по i -м видам

оборудования сети оператора связи ($i \in 1...m$), m – количество видов оборудования сети выводимого из эксплуатации при переходе на новую технологию в ходе высвобождения РЧС,

$C_{изн} = \sum_{i=1}^m (H_{ai}(C_{оби}))$ – износ оборудования, рассчитанный в соответствии с национальным

законодательством, H_{ai} – норма амортизационных отчислений на i -й вид оборудования сети, $C_{мод}(T)$ – внесенные расходы оператора на модернизацию оборудования сети в случае отсутствия перепланирования спектра, T – период времени работы сети связи.

Если результаты расчета по соотношению (1) дают отрицательную стоимость высвобождения РЧС, то это означает, что расходы на модернизацию оборудования для работы в той же полосе частот больше, чем на переход в другую полосу частот, и пользователь спектра сам заинтересован покинуть занимаемую им полосу частот.

Расчет стоимости перепланирования полосы частот в каждом случае требует экспертной оценки, устанавливающей действительную стоимость существующей и новой сетей связи. На стоимость высвобождения и перепланирования РЧС существенно влияет выбранная оператором система начисления амортизации. Чем больше амортизационные отчисления (выше нормы амортизации), тем меньше остаточная стоимость оборудования и меньше общая стоимость высвобождения.

Национальное налоговое законодательство предусматривает два основных метода начисления амортизации: линейный и нелинейный. При линейном методе сумма амортизационных отчислений – это произведение первоначальной стоимости инфраструктуры сети связи и нормы амортизации, определяемой исходя из срока ее полезного использования. Норма амортизации при линейном способе

$$H_{ai}^{лин} = (1/n_i) \times 100\%, \quad (2)$$

где $H_{ai}^{лин}$ – норма амортизации, %, n_i – срок полезного использования i -го вида оборудования сети, годы.

Налоговое законодательство делит объекты амортизируемого имущества на амортизационные группы, исходя из сроков амортизации. К оборудованию, входящему в I-VII амортизационные группы (сюда включается и оборудование систем подвижной связи), операторские компании вправе применять нелинейный метод начисления амортизации. При этом сумма амортизационных отчислений определяется как произведение остаточной стоимости объекта и нормы амортизации. Норма амортизации в этом случае:

$$H_{ai} = (2/n_i) \times 100\%, \quad (3)$$

Однако использование такой методики не позволяло амортизировать стоимость оборудования в течение срока его полезного действия. В ходе совершенствования механизма амортизации было принято, что при достижении остаточной стоимости амортизируемого оборудования уровня, равного 20 % от его первоначальной стоимости, расчет амортизации оборудования (для комбинированного метода) проводится следующим образом:

– остаточная стоимость оборудования системы для начисления амортизации рассматривается как его базовая стоимость для дальнейших расчетов;

– сумма амортизации оборудования связи за год определяется путем деления его базовой стоимости на количество лет, оставшихся до истечения срока полезного использования. Для активного обновления основных фондов и сокращения затрат на ремонт и модернизацию

цию оборудования сетей связи операторы могут применять ускоренную амортизацию активной части основных средств, т.е. полностью переносить балансовую стоимость этих фондов на издержки производства и обращение оборудования в более короткие сроки, чем предусмотрено нормами амортизационных отчислений. При введении ускоренной амортизации применяется равномерный (линейный) способ ее начисления, при котором утвержденная в установленном порядке норма годовых амортизационных отчислений увеличивается на коэффициент ускорения не выше 2.

Загрузка и распределение высвобождаемых полос радиочастотного спектра

Одной из основных проблем, сдерживающих сегодня развитие высокотехнологичных систем радиосвязи общего пользования, является недостаточность частотного ресурса, используемого без существенных ограничений на частотные, пространственные и энергетические параметры оборудования во всех рассматриваемых здесь диапазонах, а именно: 800, 900, 1800 МГц и 2 ГГц.

На рис. 1 показано распределение частот между системами мобильной связи и РЭС специального назначения в диапазонах частот 800 – 900 МГц.

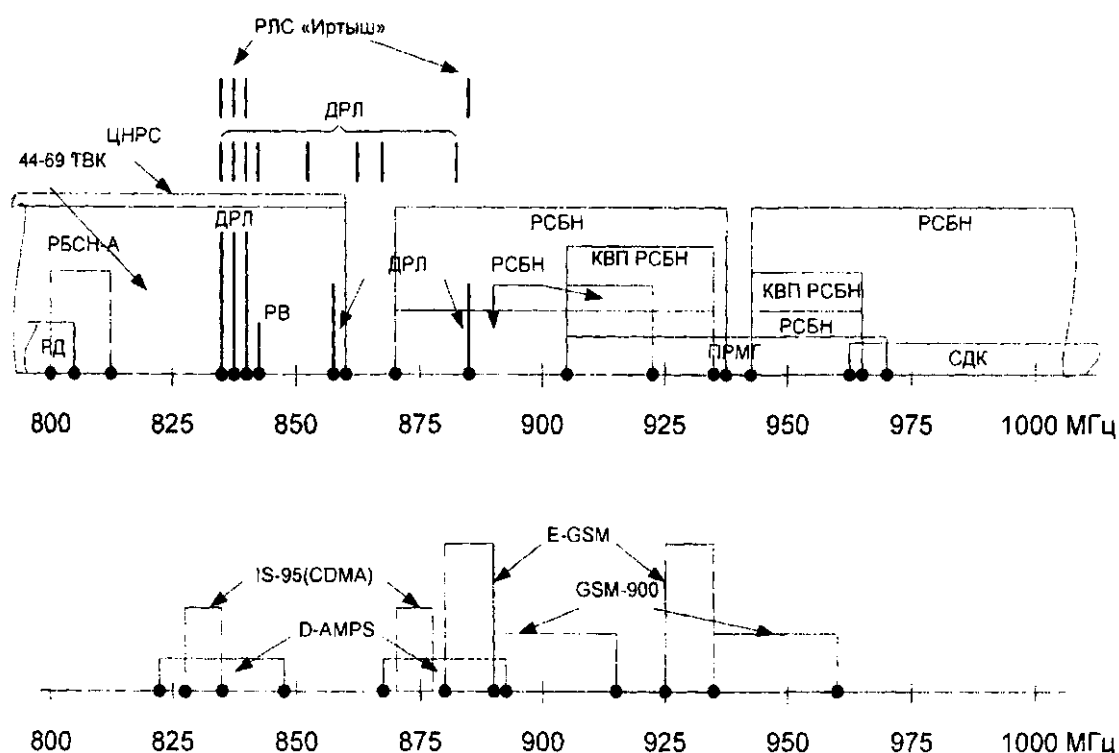


Рис. 1

Данный диапазон насыщен наземными и бортовыми радиоприемными устройствами авиационных РЭС. Необходимо отметить, что полоса частот 905 – 1000,5 МГц отведена для преимущественного использования РЭС воздушной радионавигации и управления воздушным движением. В указанных полосах частот эксплуатируются системы ближней навигации и посадки.

Анализ частотных диапазонов работы радиоприемных РЭС специального назначения показывает, что в этом диапазоне работают многие бортовые РЭС. Это бортовые радиоприемные устройства: посадочно-радиомаячная группа ПРМГ (полоса частот 905 – 970 МГц), приемники различных каналов радиотехнической системы ближней навигации РСБН, приемник контрольно-выносного пункта КВП РСБН, аппаратура межсамолетной навигации в составе РСБН-А, радиодальномер СДК, радиодальномер больших высот РВ. И наземные радиоприемные устройства: диспетчерские радиолокационные устройства типа ДРЛ, радиолокационная станция РЛС «Иртыш», приемники в составе РСБН.

Полоса частот 654 – 862 МГц отведена для 44-69 телевизионных каналов.

Учитывая интенсивное развитие технологий цифрового наземного звукового вещания и телевидения, Международный союз электросвязи принял решение о полномасштабном внедрении цифровой наземной радиовещательной службы в полосах частот 174 – 230 и 470 – 862 МГц [3].

Системам сухопутной подвижной связи американского стандарта D-AMPS, имеющим статус региональных сетей, выделены отдельные участки в полосе частот 824 – 849 МГц для абонентских станций, и 869 – 894 МГц для базовых станций.

Одним из конкурирующих на рынке беспроводной связи стал американский цифровой стандарт на основе широкополосной технологии с кодовым разделением каналов IS-95 (CDMA), называемый еще cdmaOne, которому выделена частотная полоса 828 – 831 / 873 – 876 МГц с рассмотрением в будущем возможности выделения этой полосы частот для DVB-T – основного стандарта цифрового наземного телевидения.

Только отдельные участки полос частот 890 – 915/935 – 960 МГц используются цифровыми сотовыми системами сухопутной подвижной связи стандарта GSM при условии обеспечения ЭМС с действующими РЭС воздушной радионавигации и посадки самолетов. В зависимости от региона с учетом ограничений в Украине реально используется от 64 до 33 % полосы, отведенной под стандарт GSM.

Для решения проблем дефицита частотного ресурса в диапазоне 900 МГц проводится работа об исследовании возможности и условий использования радиочастот в полосах 880 – 890/925 – 935 МГц для аппаратуры сухопутной подвижной связи стандарта E-GSM.

На рис. 2 показано соответствующее распределение, охватывающее более широкие полосы 1500 – 1900 МГц.

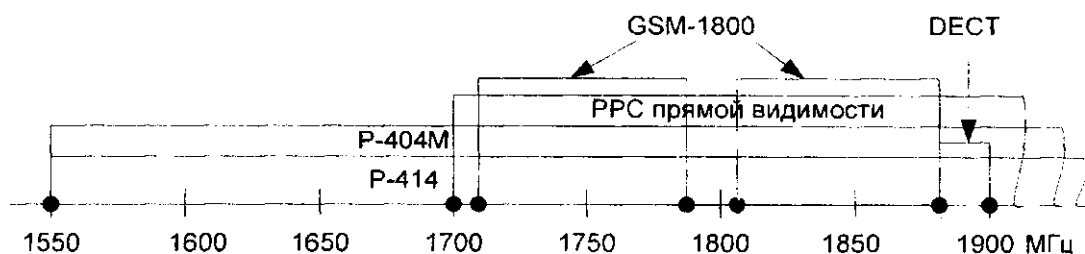


Рис. 2

Так, для сотовой связи стандарта GSM-1800 выделены диапазоны: 1710 – 1785 МГц – для передачи сигналов от подвижных станций (линия «вверх»), и 1805 – 1880 МГц – для передачи сигналов от базовой станции (линия «вниз»). Применение оборудования технологии GSM-1800 регламентируется решением СЕРТ – ERC/DEC(95)03.

Наряду с мобильной сотовой связью интенсивно развиваются цифровые системы абонентского радиодоступа стандарта DECT, решающие задачи обеспечения связью как районов, где отсутствует проводная связь, так и отдельных учреждений в пределах ограниченных территорий или зданий.

Стандарт DECT предполагает использование полосы частот 1880 – 1900 МГц.

Весь диапазон 1800 МГц имеет категорию СИ – совместное использование РЭС правительственного и гражданского назначения. В этом диапазоне возникают проблемы ЭМС сетей сухопутной подвижной связи с радиорелейными станциями (РРС) гражданского и военного назначения.

Среди радиорелейных станций военного назначения следует выделить РРС Р-404М, Р-414 (полоса частот приемника 1550 – 2000 МГц), Р-416Г (частота 2048 МГц).

Основу радиосредств гражданского назначения составляют радиорелейные станции в полосе частот 1700 – 2100 МГц. Это, прежде всего, магистральные, зонные и внутризоновые линии радиосвязи, технологические линии вдоль газопроводов и нефтепроводов и многие другие (КУРС-2 и др.)

Перспективы использования данного диапазона частот существенно расширены после ВКР-2000, согласно решению которой полоса частот 1710 – 1900 МГц определена в качестве полосы расширения для развития семейства систем сухопутной подвижной связи третьего поколения IMT-2000/UMTS, что потребует в дальнейшем исследования возможностей совместной работы сетей второго, третьего и последующих поколений в данном диапазоне частот.

В 1992 году на Всемирной конференции радиосвязи (ВКР-92) для системы IMT-2000 было утверждено глобальное выделение диапазонов частот 1885 – 2025 МГц и 2110 – 2200 МГц общей шириной полосы 230 МГц.

Полосы рабочих частот 1885 – 1980 МГц, 2010 – 2025 и 2110 – 2170 МГц были определены для наземного сегмента, а полосы 1980 – 2010 МГц и 2170 – 2200 МГц для спутникового сегмента системы IMT-2000. Все они носят название «корневых полос».

Решением Европейского комитета радиосвязи (ERC) за наземным сегментом европейской системы 3G (UMTS) закреплены следующие участки частотного спектра 1900 – 1980 МГц, 2010 – 2025 МГц и 2110 – 2170 МГц.

Таким образом, из «корневых» полос, распределенных в соответствии с Европейской Таблицей распределения полос частот для систем UMTS, полоса 1700 – 2100 МГц выделена в Украине для совместного использования (для фиксированной подвижной сухопутной службы), а полоса 2100 – 2200 МГц – для специальных пользователей [4].

Анализ загрузки диапазона 2 ГГц показывает, что основные проблемы выделения частотного ресурса в «корневых» полосах частот, планируемых для наземного сегмента UMTS, связаны с необходимостью обеспечения ЭМС с радиорелейными и радиолокационными станциями военного назначения, с радиорелейными станциями фиксированной службы гражданского назначения, а также с системами службы космических исследований.

На рис. 3 показано распределение частот в диапазоне 2 ГГц.

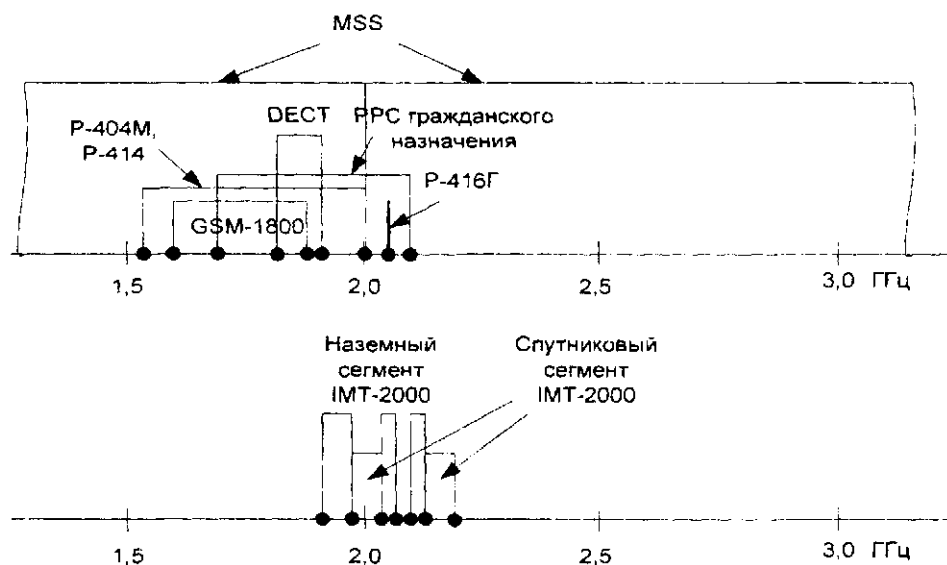


Рис. 3

Службам мобильной спутниковой связи (MSS) выделены полосы частот L (диапазон 1-2 ГГц) и S (диапазон 2-4 ГГц).

Из приведенного анализа рассмотренных частотных спектров, занятых этими РЭС, можно заключить, что имеется возможность успешно решить поставленную задачу с учетом конкретного месторасположения радиорелейных средств и районов базирования авиации Вооруженных сил Украины на основе совместного их использования.

Оптимизация использования выделенного радиочастотного ресурса

Важной проблемой является также эффективное использование выделенных радиочастотных полос с тем, чтобы при обеспечении условий ЭМС, получить гарантированное каче-

ство предоставления услуг QoS. Критерий качества в этих условиях может базироваться на анализе возможной вероятности ошибочного приема $P_{ош}$ в каждой из радиолиний мобильной сети, которая должна быть меньше допустимой:

$$P_{ош} \leq P_{ош}^{доп}, \quad (4)$$

При этом вероятность связи $P_{св}$ является, очевидно, функцией от соотношения (4). Задача связи состоит в том, чтобы при условии наличия выделенного частотного ресурса $\vec{f}^T = (f_1, f_2, \dots, f_n)$ и заданного числа m приемо-передатчиков с заданными техническими характеристиками, получить максимум вероятности связи $\max P_{св}$ в каждой радиолинии, образованной m -й парой приемо-передатчиков с наихудшими техническими показателями, то есть должен быть обеспечен показатель:

$$\max_N \min_M P_{св} (P_{ош} \leq P_{ош}^{доп}), \quad M = 1, \dots, m, \quad N = 1, \dots, n, \quad (5)$$

Из качественного рассмотрения следует, что выполнение условий (5) имеет решение в пределах одного кластера лишь при $N > M$. Для группы же кластеров это решение возможно и при $N \leq M$, при выполнении условий ЭМС.

Как в первом, так и во втором случае решение следует искать в пределах выделенного радиочастотного ресурса. Для второго случая, когда кластер образуется конкретной базовой станцией, решение на практике достигается за счет предварительного анализа электромагнитной обстановки, с учетом параметров различных РЭС. Такое решение находится, как правило, еще на этапе проектирования сети и в течение ее эксплуатации уточняется [5].

Возможно также получить и более оперативное решение, в реальном масштабе времени. Для этого потребуется организовать текущий анализ качества связи $P_{св}^{(i)}$ в каждой радиолинии и, в соответствии с полученным результатом, произвести перераспределение частотного и иного ресурса. Очевидно, в масштабе группы кластеров решение такой задачи может натолкнуться на технические проблемы, связанные со сложностью перестройки на другие частоты и другие участки спектра приемо-передающего оборудования.

В общем же случае решение задачи по критерию (5) требует получения значений всех $P_{св}^{nm}$, которые выражаются в виде матрицы:

$$P_{св}^{nm} = \begin{vmatrix} P_{св}^{11} & P_{св}^{12} & \dots & P_{св}^{1m} \\ P_{св}^{21} & P_{св}^{22} & \dots & P_{св}^{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{св}^{n1} & P_{св}^{n2} & \dots & P_{св}^{nm} \end{vmatrix}. \quad (6)$$

При наличии такой матрицы (6) в каждой из строк выбирается максимальный элемент, чем достигается удовлетворение группового критерия по каждой из m радиолиний связи.

Получение такого группового решения предполагает использование централизованной процедуры оптимизации. Вместе с тем, имеется возможность реализации децентрализованного решения, для чего для каждой радиолинии должно быть выделено дополнительно $\Delta n = 1, \dots, k$ частот. При этом, качественный показатель может быть вычислен по формуле

$$P_{св}^{ij}(\Delta n) = 1 - \prod_{\Delta n=1}^k (1 - P_{св}^{ij}), \quad (7)$$

где i, j – значения соответствующих индексов по M и N .

Задачи анализа электромагнитной совместимости

В основе методики лежит известное уравнение передачи, определяющее уровень принятого сигнала:

$$P_{пр} = P_{пер} + G_{пер} + G_{пр} + W_{св} + W_{доп}, \quad (8)$$

где $P_{пер} + G_{пер}$ – эквивалент поля изотропно-излучаемой мощности передающей станции, $G_{пр}$ – коэффициент усиления приемной станции $G = \frac{S_{эф}}{\lambda^2} 4\pi$, $S_{эф} = S \cdot K_u$ – эффективная площадь антенны, $K_u = (0,5 - 0,7)$ – коэффициент использования площади, $W_{св} = 20 \lg \frac{\lambda}{4\pi R}$ – коэффициент затухания в свободном пространстве на расстоянии R от передатчика, $W_{дон}$ – дополнительный коэффициент затухания, учитывающий особенность рельефа, климатических параметров, диапазона частот.

Сам расчет условий ЭМС основан на соотношении принимаемых уровней полезных сигналов $P_c^{(np)}$ и помех $P_n^{(np)}$, которые вычисляются на основании уравнения (8) и результаты этих расчетов сравниваются по критерию

$$\frac{P_c^{(np)}}{P_n^{(np)} + P_{ш}} \geq K_{дон}, \quad (9)$$

где $K_{дон}$ – минимально допустимое значение превышения сигнала над суммой уровней помехи и шума $P_{ш}$ в полосе частот приема.

Разработана инженерная методика анализа ЭМС, ориентированная на применение ее в указанных участках радиочастотного диапазона. Структура взаимодействия подпрограммы для проведения расчетов представлена на рис. 4.

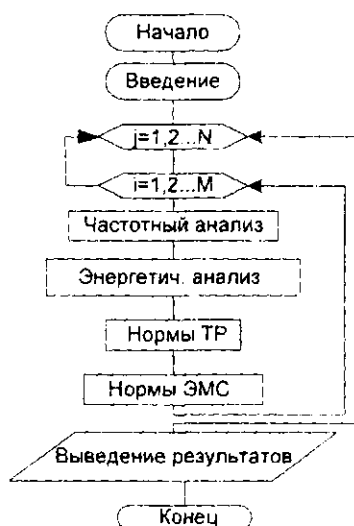


Рис. 4

В основных подпрограммах осуществляется частотный и энергетический анализ, учитываются нормы территориального разнота, нормы ЭМС.

Частотный анализ сводится к сопоставлению количества и состава возможных частотных каналов возникновения неумышленных радиопомех в приемнике для трех субгармоник и гармоник передатчика и гетеродина и для зеркального канала приема.

Энергетический анализ сводится к расчету мощности радиопомехи на входе радиоприемника. При этом определяется, какой уровень мощности базовых станций мобильной связи существенно влияет на параметры ЭМС данных РЭС.

Нормы территориального разнота определяются при известном уровне мощности неумышленных радиопомех и допустимой мощности сигнала на входе соответствующего радиоприемника.

Из полученных норм территориального разнота определяется расстояние, на котором будут рассчитываться нормы ЭМС. На границах полученных интервалов определяются зна-

чения превышения мощности неумышленной радиопомехи над допустимой мощностью и определяется необходимый частотный разнос.

Результаты расчетов выводятся в виде графиков, таблиц данных и отдельных файлов данных, которые можно использовать в соответствующих электронных документах.

Выводы

1. Проведен анализ загрузки в высвобождаемых участках РЧС и сделан вывод о возможности совместного использования данных участков.

2. Рассмотрена методика расчета стоимости высвобождения РЧС при использовании метода, компенсирующего балансовую стоимость оборудования при переводе в другой диапазон частот или на другую технологию.

3. Разработана инженерная методика анализа ЭМС, ориентированная на применение ее в рассмотренных участках радиочастотного диапазона.

Список литературы: 1. Тихвинский В.О. Методология высвобождения и перепланирования РЧС для развития сетей ПС // Мобильные системы. 2001, №12. 2. Серов В.М. Инвестиционный менеджмент. Учеб. пособие. М.: ИНФРА-М, 2000. 272 с. 3. Заключительные акты Региональной конференции радиосвязи (РКР-06) по планированию цифровой наземной радиовещательной службы в частях районов 1 и 3 в полосах частот 174 – 230 МГц и 470 – 862 МГц // Зв'язок. 2006. №5. С. 20-21. 4. Шляпкин А.Ю., Благодарный В. Г. Некоторые проблемы в сфере управления радиочастотными ресурсами / Государственный центр «Укрчастотнагляд». С. 61-66. 5. Ступак В.С., Долматов С.О. Основы радіочастотного контролю/ За ред. В.Ф. Олійника. Київ, 2004. 231с.

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники*

Поступила в редколлегию 06.11.2006