

УДК 681.518.22
DOI: 10.15827/0236-235X.030.3.529-536

Дата подачи статьи: 06.04.17
2017. Т. 30. № 3. С. 529–536

АЛГОРИТМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ОЦЕНКИ СОВМЕСТИМОСТИ СРЕДСТВ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ И СТАНЦИЙ ВОЗДУШНОЙ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СЛУЖБЫ

О.Ю. Вавулов, аспирант, *ovavulov@mail.ru*

(Российский научно-технический центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия, Нахимовский просп., 31, корп. 2, г. Москва, 117418, Россия);

А.В. Сухов, д.т.н., профессор, *avs57@mail.ru*

(Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Волоколамское шоссе, 4, г. Москва, 125993, Россия);

В.Н. Решетников, д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой, *rvn@mail.ru*

(Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Волоколамское шоссе, 4, г. Москва, 125993, Россия);

Центр визуализации и спутниковых информационных технологий ФНЦ НИИСИ РАН, Нахимовский просп., 36, корп. 1, г. Москва, 117218, Россия)

В современном информационном обществе количество пользователей, нуждающихся в качественной, быстрой и непрерывной мобильной связи, неуклонно растет. В связи с этим усиленно разрабатываются и внедряются новые технологии и стандарты качества в этой области (LTE, 4G). При этом важно учитывать также и возможность электромагнитной совместимости со средствами других служб связи, особенно отвечающих за безопасность, например, воздушной радионавигационной службы.

В настоящей работе рассмотрена разработка алгоритма информационной оценки состояния комплекса средств воздушной радионавигационной службы в условиях деструктивного помехового воздействия, оказываемого системами мобильной связи. Математически состояние комплекса средств воздушной радионавигационной службы представлено в информационном пространстве, основанном на информационной мере – энтропии покрытия, которая показывает, насколько реальные характеристики рассматриваемой системы соответствуют своим нормативным значениям.

Предложенный метод опробован для оценки помехового воздействия на реальные российские станции воздушной радионавигационной службы, размещенные в приграничном регионе, приведен пример применения алгоритма для оценки совместимости комплекса средств воздушной радионавигационной службы и реальной сети мобильной связи.

Предложен алгоритм координации с комплексом средств воздушной радионавигационной службы нового частотного присвоения для единичной базовой станции. Указанный алгоритм основан на расчете напряженности поля суммарной помехи в месте размещения станции воздушной радионавигационной службы от всех станций сухопутной подвижной службы и на сравнении рассчитанного значения с предельно допустимым, заданным для конкретного типа станции воздушной радионавигационной службы.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, информационная оценка, воздушная радионавигационная служба, мобильная связь, энтропия покрытия, координация.

Международный союз электросвязи (далее – МСЭ) (глобальная организация, иницилирующая и координирующая действия мирового сообщества в области развития телекоммуникаций) в целях обеспечения эффективной эксплуатации средств электросвязи разработал Регламент радиосвязи. Этот документ призван путем распределения различным службам различных частотных диапазонов свести к минимуму возможность их взаимного помехового воздействия. Однако, согласно ему, в ряде случаев один и тот же частотный интервал оказывается распределенным одновременно как сухопутной подвижной службе (СПС), так и воздушной радионавигационной службе (ВРНС).

Вследствие означенных причин встает вопрос о точных методах оценки состояния комплекса средств ВРНС в условиях помехового воздействия от средств СПС, а также при необходимости о координации новых частотных присвоений для станций указанных служб. В настоящее время удовле-

творительных методик и алгоритмов в этой области не существует.

Основным показателем, по которому можно оценить защищенность станции ВРНС, является напряженность поля суммарной помехи, создаваемой средствами СПС в месте нахождения защищаемой станции. Множественная помеха рассчитывается по принципу суперпозиции электромагнитных полей, то есть результирующая мощность является суммой мощностей полей помех, создаваемых в этом месте каждой из станций СПС в отдельности:

$$P_{sum} = \sum_{i=1}^N P_i, \quad (1)$$

где P_i – мощность поля помехи, создаваемой в месте размещения станции ВРНС i -й станцией СПС (Вт); P_{sum} – результирующая мощность поля помехи от всех учитываемых станций СПС в месте размещения станции ВРНС (Вт); N – общее число учитываемых станций СПС.

Запишем принцип суперпозиции (1) для напряженностей поля, выраженных в дБмкВ/м [1]:

$$E_{sum} = 10 \times \lg \left(\sum_{i=1}^N 10^{0,1E_i} \right), \quad (2)$$

где E_{sum} , E_i – соответственно результирующая и создаваемая i -й станцией СПС напряженности поля, выраженные в дБмкВ/м.

В качестве критерия защиты станций ВРНС [2] принимаются задаваемые разработчиками для каждого типа станций предельно допустимые значения поля суммарной помехи в месте размещения станции, приведенные в Рекомендации МСЭ-R М.1830 «Технические характеристики и критерии защиты систем воздушной радионавигационной службы в полосе частот 645–862 МГц».

Для расчета напряженности поля помехи E_i , создаваемой одиночной i -й станцией СПС, необходимо иметь следующие исходные данные:

- расстояние (r) между станциями ВРНС и СПС;
- эквивалентная изотропно излучаемая мощность (ЭИИМ) P_{MS} передатчиков средств СПС: базовых станций (БС) и абонентских терминалов (АТ) (P_{BS} , P_{ST});
- высота подвеса приемной антенны станции ВРНС (h_{ARNS});
- высота подвеса передающей антенны БС в конкретном секторе (h_{BS});
- эффективная высота антенны БС по азимуту от БС на станцию ВРНС (h_{eff});
- характеристика диаграммы направленности (ДН) антенны БС.

Для оценки эффективности координации средств СПС со станциями ВРНС в полной мере необходимо учитывать не только совокупную мощность поля помех, но и требования, установленные соглашениями между администрациями связи граничащих государств по использованию определенных частотных диапазонов. В указанных соглашениях в основном рассмотрены приведенные выше параметры в виде заданных на их допустимые значения ограничений, определенных с учетом расстояния от средств СПС до государственной границы.

Для комплексной обобщенной оценки результатов координации можем применить информационный подход [3], основанный на использовании информационной меры – энтропии покрытия [4]. Энтропия покрытия H_n в обобщенной форме характеризует степень соответствия/несоответствия реальных характеристик системы их нормативным значениям [5–7], учитывая возможность их изменения в сторону как уменьшения, так и увеличения. Для описания состояния станции ВРНС в предметной области в условиях множественной помехи от средств СПС в информационной области введем вектор реальных показателей R_p , компонентами которого будут являться действительные значения

вышеприведенных характеристик. Аналогично вводится вектор нормативных показателей R_n , составленный из множества требуемых значений.

Тогда в качестве элемента покрытия множества нормативных характеристик множеством реальных введем следующий вектор [8]:

$$\Pi(t) = \begin{pmatrix} \Pi_1 \\ \Pi_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \left\| \left[R_p \setminus (R_p \cap R_n(t)) \right] \cup (R_p \cap R_n(t)) \right\| / \left\| R_p \cap R_n(t) \right\| \\ \left\| R_n(t) \right\| / \left(\left\| R_n(t) \right\| - r \left\| R_n(t) \setminus (R_p \cap R_n(t)) \right\| \right) \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где \setminus – операция разности множеств; $\| \cdot \|$ – первая норма; r – коэффициент приоритета элемента, для которого рассчитывается относительная энтропия покрытия, $r \in (0; 1)$, обычно принимается равным в диапазоне от 0,9 до 0,999.

С учетом (3) энтропия покрытия H_n (бит) в обобщенном смысле определяется выражением

$$H_n = (\log_2 \Pi_1 + i \log_2 \Pi_2), \quad (4)$$

где i – мнимая единица; Π_1 , Π_2 – компоненты вектора элемента покрытия.

Очевидно, что энтропия покрытия – это комплексная величина, при этом ее действительная часть характеризует запас по значениям отдельных показателей по сравнению с нормативными, а мнимая – повышенные значения других характеристик. Условие $H_n = 0$ соответствует либо идеальному случаю, когда реальные показатели совпадают с требуемыми, либо состоянию компромисса, при котором избыток по одним показателям сбалансирован пониженными значениями других.

В качестве демонстрации применения информационного подхода к анализу электромагнитной совместимости средств ВРНС со средствами СПС с использованием информационной меры – энтропии покрытия – была проведена информационная оценка характеристик БС сети мобильной связи одного из сопредельных государств, развертываемой в непосредственной близости от границы с Россией, на соответствие условиям, приведенным в соглашении между администрациями связи РФ и сопредельного государства по совместному использованию определенного частотного диапазона. Рассматриваемое соглашение призвано в том числе обеспечить защиту средств ВРНС от помех в соответствии с действующими критериями (ограничение на мощность помехи на входе приемника радиозлектронного средства (РЭС) или ограничение на напряженность электромагнитного поля помехи в районе размещения приемной антенны РЭС ВРНС). Однако при координации размещения БС могут возникать ситуации, требующие компромиссных решений, учитывающих особые пожелания администрации связи сопредельного государства. Естественно, что учет этих пожеланий не должен приводить к невыполнению критериев уровня помех для действующих РЭС ВРНС. Превышение ограничений соглашения не обязательно приводит к нарушениям этих критериев, но может привести

Таблица 1

Зависимость значения плотности развертывания от местоположения БС

Table 1

Dependence of a deployment density on a base station location

Расстояние до границы РФ	Координаты БС		
	Приграничный район № 1	Приграничный район № 2	Приграничный район № 3
Менее 10 км	Требуется координация	Требуется координация	Требуется координация
10–15 км	Требуется координация	Требуется координация	1 БС на 100 км ²
15–30 км	1 БС на 100 км ²	1 БС на 100 км ²	1 БС на 100 км ²
30–60 км	10 БС на 100 км ²	1 БС на 100 км ²	10 БС на 100 км ²
60–100 км	100 БС на 100 км ²	100 БС на 100 км ²	100 БС на 100 км ²

к ограничениям по развертыванию новых средств ВРНС. Поэтому необходим инструментарий, в полной мере оценивающий как запас, так и недостаток устойчивости к помехам ВРНС. Такая оценка ситуации может быть проведена в информационном пространстве.

Оценка проводилась для набора потенциально опасных БС, размещенных менее чем в 100 км от границы РФ. При этом для всех приведенных БС излучение сигнала происходит на центральной частоте 826 МГц в полосе шириной 5 МГц с ЭИИМ передатчиков 316 Вт.

Исходя из заданных в соглашении ограничений информационная оценка электромагнитной совместимости проводилась по следующим показателям:

1) h_{eff} , м – эффективная высота антенны БС по азимуту от БС на границу РФ (значения данного показателя не должны превышать нормативного $(h_{eff})_{norm} = 60$ м для всех БС, находящихся не более чем в 60 км от границы);

2) d , шт. на 100 км² – плотность развертывания БС (нормативное значение по этому показателю d_{norm} выбирается в зависимости от конкретных условий размещения БС из таблицы 1);

3) E , дБмкВ/м – прогнозируемая средняя напряженность электрического поля, создаваемого конкретной БС при передаче на границе РФ (нормативное значение по этому показателю E_{norm} выбирается в зависимости от местоположения БС: в приграничном районе № 1 – 53 дБмкВ/м, в приграничном районе № 2 – 57 дБмкВ/м, в приграничном районе № 3 – 58 дБмкВ/м).

Эффективная высота антенны БС h_{eff} рассчитывалась программно [9] как сумма высоты подвеса антенны БС над поверхностью земли в конкретном месте ее размещения и высоты рельефа окружающей БС местности по азимуту на границу РФ, которая вычисляется на основании значений, взятых из БД SRTM3 (Shuttle Radar Topography Mission) [10], глобальной матрицы высот земной поверхности и усредненных на отрезке от 3 до 15 км удаления от передатчика БС. Расчет прогнозируемой средней напряженности поля, создаваемого отдельной БС на границе РФ, проводился в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R P.1546-5 для 10 % времени и 50 % местоположений.

В таблице 2 приведены результаты сопоставления требуемых значений показателей в сокращенном варианте для отдельных станций сети с реальными значениями, предложенными государством, на территории которого развернута сеть. Общий размер исследуемой сети – 871 станция. Реальные значения показателей, превышающие нормативные значения, выделены жирным шрифтом.

В условиях рассматриваемой задачи для i -й БС расчет составляющих вектора элемента покрытия множества нормативных значений j -го показателя множеством реальных (3) будем осуществлять следующим образом:

$$\Pi_{ji} = K_n \frac{\left| (R_j)_i - (R_{norm})_j \right|}{(R_{norm})_j} + 1, \tag{5}$$

где $(R_j)_i$ – реальное значение j -го показателя для i -й БС; $(R_{norm})_j$ – нормативное значение j -го показателя; K_n – коэффициент нормировки, который выбирается из соотношения $\frac{(R_{max})_j}{(R_{norm})_j} \times K_n = 10$, где

$(R_{max})_j$ – максимальное значение j -го показателя.

Значение итоговой энтропии покрытия:

$$H_n = \sum_{j=1}^3 \log_2 \sum_{i=1}^N \begin{cases} \Pi_{ji}, & (R_j)_i \leq (R_{norm})_j \\ 0, & (R_j)_i > (R_{norm})_j \end{cases} + i \sum_{j=1}^3 \log_2 \sum_{i=1}^N \begin{cases} \Pi_{ji}, & (R_j)_i > (R_{norm})_j \\ 0, & (R_j)_i \leq (R_{norm})_j \end{cases}. \tag{6}$$

Видно, что, согласно (6), действительная часть энтропии покрытия характеризует запас по устойчивости к деструктивным факторам отдельных показателей по сравнению с нормативными, а мнимая часть – недостаточность запаса устойчивости. Нулевое значение энтропии покрытия будет соответствовать случаю, когда достигается значение состояния полного компромисса.

Наглядно алгоритм информационной оценки деструктивного влияния конкретной мобильной сети на комплекс средств ВРНС представлен на рисунке 1.

Информационная оценка по приведенному выше алгоритму была выполнена для трех ситуаций:

Таблица 2

Значения показателей для БС одной сети

Table 2

The real metric values for one-network base stations

Условное обозначение БС	Показатель № 1 h_{eff} , м		Показатель № 2 d , шт. на 100 км ²		Показатель № 3 E , дБмкВ/м	
	Реальный	Нормативный	Реальный	Нормативный	Реальный	Нормативный
052С	45,00	60	33	100	0,46	58
052С	39,00	60	33	100	14,64	58
229	28,30	60	33	100	-9,14	58
229	28,30	60	12	100	23,84	53
229	28,30	60	12	100	11,49	53
22АМ	52,23	60	12	100	31,31	53
23А	34,00	60	2	1	19,99	58
23В	58,20	60	2	1	26,99	58
23В	66,80	60	2	1	21,71	58
23В	63,00	60	2	1	10,98	53
23D	79,57	60	2	1	-1,37	53
23D	79,57	60	3	100	-10,00	58
23D	72,70	60	3	100	14,28	58
24А	22,03	60	3	100	1,14	58
24А	22,03	60	12	100	18,19	53
24А	22,03	60	12	100	31,14	53
25А	97,28	60	12	100	9,31	53
25А	106,50	60	2	100	-8,45	58
25А	94,00	60	2	100	7,74	58
...						

– исходные предложения администрации связи сопредельного государства;

– полное исключение станций СПС сопредельного государства, не удовлетворяющих условиям соглашения;

– ситуация компромисса, учитывающая предложения администрации связи сопредельного государства и не допускающая запрещенного по критерию защиты уровня помех на РЭС ВРНС.

Результаты оценки этих ситуаций в значениях энтропии покрытия приведены в таблице 3. Необходимо отметить, что все три ситуации рассмотрены с условием обязательного выполнения требований по допустимому уровню помех для действующих РЭС ВРНС.

Таблица 3

Результаты информационной оценки

Table 3

The results of information evaluation

Ситуация	Значение действительной части (запас), бит	Значение мнимой части (превышения), бит
Предложения администрации связи	32,10	15,74
Координация с комплексом средств ВРНС	31,79	0
Компромисс (соглашение)	31,58	2,60

Приведенные результаты показывают следующее.

- Предложения администрации связи сопредельного государства не в полной мере соответствуют условиям соглашения, обеспечивающим защиту РЭС ВРНС от вредного действия помех. Величина мнимой составляющей энтропии покрытия очень высока. Но в отдельных районах размещения РЭС СПС имеются достаточные ресурсы по запасу устойчивости к помехам, что показывает действительная составляющая энтропии покрытия.

- При полном выполнении условий соглашения защита РЭС ВРНС обеспечивается в полном соответствии с критериями по допустимым уровням помех, при этом мнимая составляющая энтропии покрытия принимает нулевое значение. Несколько снижается запас устойчивости к вредному воздействию помех, действительная составляющая энтропии покрытия меньше, чем в первой ситуации.

- При компромиссном решении значения действительной и мнимой составляющих энтропии покрытия снижаются по сравнению с первой ситуацией. Действительная составляющая энтропии покрытия снижается незначительно, а мнимая составляющая – довольно значительно, с 15,74 до 2,6 бит. Целесообразно установить для мнимой составляющей допустимое пороговое значение, которое сле-

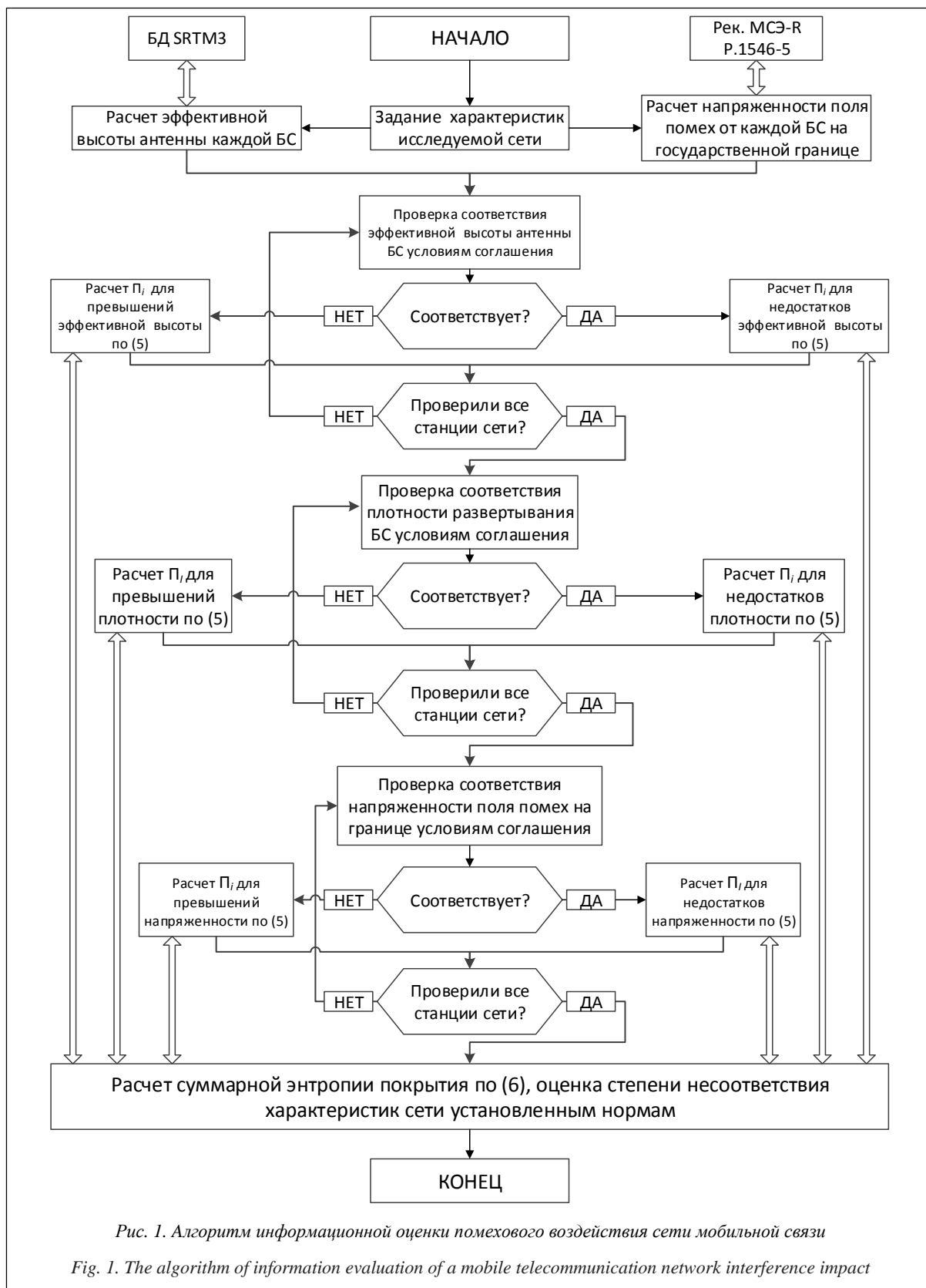


Рис. 1. Алгоритм информационной оценки помехового воздействия сети мобильной связи

Fig. 1. The algorithm of information evaluation of a mobile telecommunication network interference impact

дует учитывать при проведении координации БС сопредельного государства.

Наличие мнимой составляющей характеризует возможные ограничения на размещение новых

средств ВРНС в определенных приграничных районах, а достаточно большая величина действительной составляющей энтропии покрытия определяет довольно высокие потенциальные возможности

обеих администраций связи по размещению новых РЭС.

Следует также отметить, что при оптимизации сетей и при проведении координации энтропия покрытия обеспечивает возможность применения математических методов, основанных на ее использовании. Примеры решения оптимизационных задач с использованием энтропии покрытия приведены в работах [3, 5–9].

Наряду с приведенным выше анализом комплексного помехового воздействия не менее актуальной задачей является оценка вклада излучения, создаваемого единичной БС СПС. Решение этого вопроса позволяет адекватно реагировать на изменение помеховой обстановки в приграничном регионе, то есть в зависимости от характеристик проектируемой станции СПС, указанных в запросе на координацию частотного присвоения для нее, обоснованно удовлетворять или отклонять указанный запрос. При этом необходимо учитывать как ограничения, заданные в действующем соглашении между запрашивающей и затронутой администрациями связи, так и прогнозируемое среднее значение напряженности поля помех от станций СПС в месте размещения станции ВРНС (с учетом помехового вклада ранее скоординированных станций).

При расчетах напряженности поля помех принимаются следующие допущения:

- средства СПС используют режим частотного разделения каналов (FDD – frequency division duplex), который подразумевает, что БС и АТ работают в разных частотных диапазонах;
- антенны АТ являются всенаправленными;
- эффективная высота антенн АТ равна 1,5 м;
- БС одной сети могут одновременно работать на одной частоте;
- АТ, расположенные в различных секторах антенны БС, могут одновременно работать на одной частоте;
- суммарная ЭИИМ всех АТ, работающих в одном секторе антенны БС, соответствует максимальной ЭИИМ одного АТ;
- в целях обеспечения безопасности полетов воздушного судна для расчетов напряженности поля помех, создаваемых средствами СПС в месте размещения воздушной станции ВРНС, используется уравнение распространения радиоволн в свободном пространстве, приведенное в Рекомендации МСЭ-Р Р.525-2 «Расчет ослабления в свободном пространстве»;
- для расчета напряженности поля помех от станций СПС в месте размещения наземной стан-

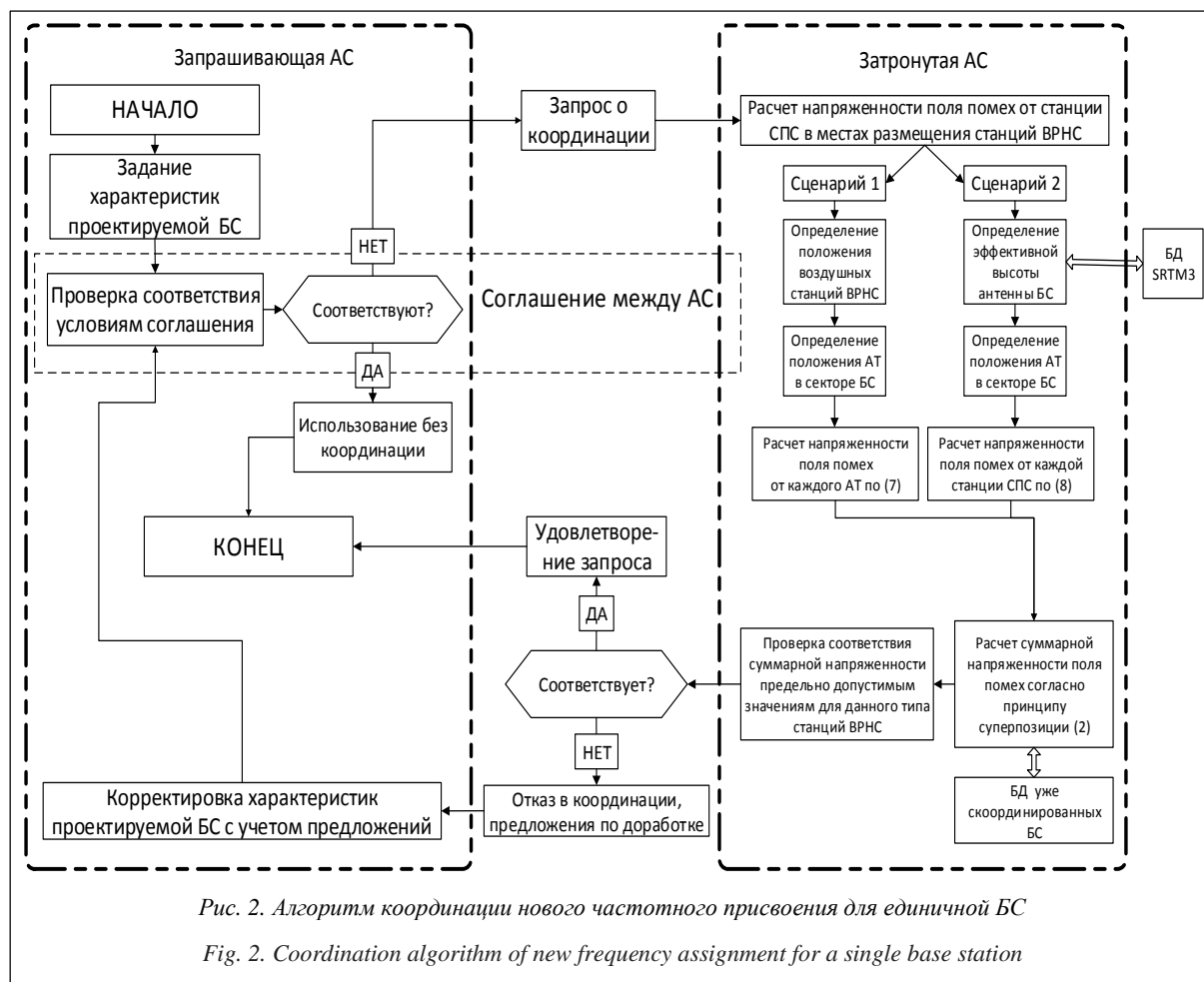


Рис. 2. Алгоритм координации нового частотного присвоения для единичной БС

Fig. 2. Coordination algorithm of new frequency assignment for a single base station

ции ВРНС используется Рекомендация МСЭ-R P.1546-5 для 10 % времени и 50 % местоположений.

Возможны два характерных сценария помеховой обстановки:

– сценарий 1: помеха от средств СПС на воздушные станции ВРНС;

– сценарий 2: помеха от средств СПС на наземные станции ВРНС.

В случае реализации 1-го сценария алгоритм для проведения расчетов заключается в следующем:

– определяется место размещения воздушной станции ВРНС путем размещения на минимальном удалении от границы в пределах зоны обслуживания соответствующей наземной станции ВРНС;

– определяется положение АТ (работающего с максимальной мощностью) в каждом секторе БС путем размещения АТ на минимальном удалении от воздушной станции ВРНС в пределах зоны обслуживания рассматриваемого сектора БС;

– рассчитывается напряженность поля помехи от каждого АТ в месте размещения воздушной станции ВРНС по формуле, приведенной в Рекомендации МСЭ-R P.525-2:

$$E_i = P_i - 20 \lg r_i + 74,8 + G_{ARNS}, \quad (7)$$

где E_i – напряженность поля помехи, создаваемой i -й станцией СПС в месте размещения станции ВРНС (дБмкВ/м); P_i – максимальная ЭИИМ i -й станции СПС (дБВт); r_i – расстояние от i -й станции СПС до станции ВРНС (км); G_{ARNS} – коэффициент усиления антенны станции ВРНС (дБи);

– по закону суперпозиции электромагнитных полей (2) рассчитывается суммарная помеха от всех АТ в месте размещения воздушной станции ВРНС;

– суммарная помеха от всех АТ в месте размещения воздушной станции ВРНС сравнивается с предельно допустимым уровнем суммарных помех, и делается вывод о возможности совмещения с рассматриваемой воздушной станцией ВРНС.

При реализации сценария 1 со стороны БС воздействия на бортовые станции не происходит. Это объясняется тем, что ввиду высокой мощности передатчиков БС нет возможности их совместного использования с воздушными станциями ВРНС. Рабочие частоты указанных станций должны находиться на разных неперекрывающихся диапазонах радиочастот.

В случае реализации сценария 2 учитывается помеховое воздействие от всех типов средств СПС, расчеты ведутся по следующему алгоритму:

– по координатам БС и высоте подвеса антенны БС в конкретном секторе вычисляется эффективная высота антенны БС по азимуту на наземную станцию ВРНС программным способом с использованием матрицы высот земной поверхности (данные SRTM3);

– определяется положение АТ (работающего с максимальной мощностью) в каждом секторе БС путем размещения АТ на минимальном удалении от станции ВРНС в пределах зоны обслуживания рассматриваемого сектора БС;

– рассчитывается напряженность поля помехи от каждой БС и от каждого АТ в месте размещения наземной станции ВРНС по формуле, приведенной в Рекомендации МСЭ-R P.525-2:

$$E_i = P_i - L_i + 20 \lg f + 167,2 + G_{ARNS}, \quad (8)$$

где E_i , P_i , G_{ARNS} – аналоги величин, приведенных в (7); f – частота излучения станции СПС (ГГц); L_i – потери при распространении помехи от станции СПС до станции ВРНС (дБ), рассчитываются в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R P.1546-5;

– по закону суперпозиции электромагнитных полей (2) рассчитывается суммарная помеха от всех средств СПС в месте размещения наземной станции ВРНС;

– полученная суммарная помеха в месте размещения наземной станции ВРНС сравнивается с предельно допустимым уровнем суммарной помехи и делается вывод о возможности совмещения с рассматриваемой наземной станцией ВРНС.

Наглядно алгоритм координации нового частотного присвоения для единичной БС СПС и комплекса средств ВРНС показан на рисунке 2.

Таким образом, в настоящей работе представлен алгоритм комплексной информационной оценки состояния комплекса средств ВРНС в условиях деструктивного помехового воздействия средств СПС, позволяющий математически определить степень неудовлетворенности параметрами рассматриваемой сети мобильной связи с помощью введения информационной меры – энтропии покрытия. Кроме того, предложена удовлетворительная методика (с приведением соответствующего алгоритма) координации отдельных станций СПС.

Литература

1. Пудовкин А.П., Панасюк Ю.Н., Иванков А.А. Основы теории антенн. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2011. С. 7.
2. Юрков Н.К., Андреев П.Г., Жумабаева А.С. Проблема обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств // Надежность и качество: тр. Междунар. симпози. Пенза. 2015. Т. 1. С. 201–203.
3. Сухов А.В., Новиков О.П., Прокопенко В.С. Динамика информационных потоков в системе управления сложным техническим комплексом в информационном пространстве, основанном на энтропии покрытия // Межотраслевая информационная служба. 2012. № 1. С. 16–21.
4. Ломакин М.И., Коровайцев А.А., Сухов А.В. Информационно-энтропийный подход к оценке метрологического ресурса средств измерений // Измерительная техника. 2014. № 12. С. 14–17.
5. Сухов А.В., Мячин А.В. Методы и технологии разработки управленческих решений при создании сложных технических комплексов. М.: Изд-во ВА РВСН им. Петра Великого, 2008. С. 53–54.
6. Calculation of effective antenna heights using the SRTM3 Terrain Database. URL: <http://www.itu.int/SRTM3/> (дата обращения: 04.04.2017).

7. Farr T.G., Rosen P.A., Caro E., Crippen R., Duren R., Hensley S., Kobrick M., Paller M., Rodriguez E., Roth L., Seal D., Shaffer S., Shimada J., Umland J., Werner M., Oskin M., Burbank D.,

Alsdorf D. The shuttle radar topography mission. *Reviews of Geophysics*, 2007, vol. 45, is. 2. URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2005RG000183/epdf> (дата обращения: 04.04.2017).

Software & Systems
DOI: 10.15827/0236-235X.030.3.529-536

Received 06.04.17
2017, vol. 30, no. 3, pp. 529–536

ALGORITHMS OF INFORMATION ESTIMATION OF COMPATIBILITY OF MOBILE TELECOMMUNICATION DEVICES AND AERONAUTICAL RADIONAVIGATION SERVICE STATIONS

O.Yu. Vavulov¹, *Postgraduate Student, ovavulov@mail.ru*

A.V. Sukhov², *Ph.D. (Engineering), Professor, avs57@mail.ru*

V.N. Reshetnikov^{2,3}, *Dr.Sc. (Physics and Mathematics), Professor, Head of Chair, rvn@mail.ru*

¹ *Russian Scientific-Technical Information Centre for Standardization, Metrology And Conformity Assessment, Nakhimovsky Av. 31-2, Moscow, 117418, Russian Federation*

² *Moscow Aviation Institute (National Research University), Volokolamskoe Highway 4, Moscow, 125993, Russian Federation*

³ *Center of Visualization and Satellite Information Technologies SRISA, Nakhimovsky Ave. 36/1, Moscow, 117218, Russian Federation*

Abstract. Every member in modern information society requires high-quality, high-speed and widespread mobile telecommunication. The number of such users increases steadily. Therefore, new technologies are being rapidly developed and the newest quality standards (LTE, 4G) are being implemented in this area. At the same time, it is also important to take into account the possibility of electromagnetic compatibility with other telecommunication service devices, especially safety services, for instance, aeronautical radionavigation service.

The present article considered the issue of information estimation algorithm development for the state of the technical complex of aeronautical radionavigation service in conditions of destructive interference impact from mobile telecommunication systems. The state of technical complex of aeronautical radionavigation service is defined in the mathematical terms in information space is set by means of the information measure – covering entropy that indicates how real characteristics of the considered systems correspond to their normative values. The suggested method has been applied for estimation of interference impact on the real Russian stations of aeronautical radionavigation service, located in the border region, the example of algorithm application is presented for compatibility estimation of the technical complex of aeronautical radionavigation service with the real mobile telecommunication network.

With this coordination algorithm of the technical complex of aeronautical radionavigation service with new frequency assignment for a single base station is suggested. This algorithm is based on calculation of intensity of the aggregate interference field strength produced by all land mobile stations in the area of location of aeronautical radionavigation service station and comparison of the calculated value with the permissible value for specific type of aeronautical radionavigation service station.

Keywords: electromagnetic compatibility, information estimation, aeronautical radionavigation service, mobile telecommunication, covering entropy.

References

1. Pudovkin A.P., Panasyuk Yu.N., Ivankov A.A. *Osnovy teorii antenn* [Fundamentals of Antenna Theory]. Tambov, TSTU Publ., 2011, p. 7 (in Russ.).
2. Yurkov N.K., Andreev P.G., Zhumabaeva A.S. The problem of ensuring electromagnetic compatibility of radio electronic means. *Nadezhnost i kachestvo: tr. Mezhdunar. simpoz.* [Proc. of the Int. Symp. Reliability and Quality]. Penza, 2015, vol. 1, pp. 201–203 (in Russ.).
3. Sukhov A.V., Novikov O.P., Prokopenko V.S. Dynamics of information streams in a control system of a difficult technical complex in the information field based on covering entropy. *Mezhotraslevaya informatsionnaya sluzhba* [Interindustry Information Service]. 2012, no. 1, pp. 16–21 (in Russ.).
4. Lomakin M.I., Korovaytsev A.A., Sukhov A.V. Information-entropy approach to assessing resource metrological measuring instruments. *Izmeritelnaya tekhnika* [Measuring equipment]. 2014, no. 12, pp. 14–17 (in Russ.).
5. Sukhov A.V., Myachin A.V. *Metody i tekhnologii vyrabotki upravlencheskikh resheny pri sozdanii slozhnykh tekhnicheskikh kompleksov* [Methods and technologies of development of administrative decisions when creating complex technical systems]. Moscow, Military Academy RVSN them. Peter the Great Publ., 2008, pp. 53–54 (in Russ.).
6. *Calculation of Effective antenna heights using the SRTM3 Terrain Database*. Available at: <http://www.itu.int/SRTM3/> (accessed April 4, 2017).
7. Farr T.G., Rosen P.A., Caro E., Crippen R., Duren R., Hensley S., Kobrick M., Paller M., Rodriguez E., Roth L., Seal D., Shaffer S., Shimada J., Umland J., Werner M., Oskin M., Burbank D., Alsdorf D. *The Shuttle Radar Topography Mission. Reviews of Geophysics*, 2007, vol. 45, iss. 2. Available at: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2005RG000183/epdf> (accessed April 4, 2017).