

Допустимые уровни электромагнитного поля и особенности работы VSAT-станций Ku-диапазона частот.

В.Р. Анпилогов, март 2007.



Темпы развития VSAT-технологий сохраняются устойчиво высокими во всем мире. На протяжении последних пяти лет устанавливается около 100 тыс. приемопередающих VSAT-станций ежегодно. В период с 2003 по 2006 гг. годовой их прирост существенно увеличился: только в 2005 г. число установленных VSAT-станций достигло 1500-1800. Однако по сравнению с мировой практикой - это капля в море. Причина такой диспропорции в значительной степени объясняется непрозрачностью, сложностью и долго временностью (несколько месяцев) процесса получения разрешения на эксплуатацию радиоэлектронного средства. Все это приводит к дополнительным неадекватным затратам (рис. 1), которые в совокупности могут достигать значения, близкого к стоимости наиболее востребованного интерактивного типа VSAT-станции.

Нормативное определение VSAT в России

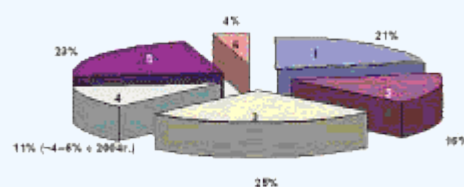
Первые практические шаги в изменении ситуации с VSAT в лучшую сторону сделало еще Минсвязи России и ГКРЧ, приняв в феврале 2004 г. решение об упрощенном порядке частотного обеспечения VSAT в России (Решение ГКРЧ № 32/4 от 24.02.04). Этот порядок еще нельзя назвать принципиальным упрощением, поскольку сохраняется многоэтапность согласований, которая возлагается на гражданина или юридическое лицо РФ, да и действует данное решение только при использовании спутников ГПКС и ОАО "Газком". Но начало было положено. Выделены полосы частот 14330-14370 и 14408-14500 МГц для использования VSAT Ku гражданского назначения и определены существенные параметры, выделяющие класс VSAT-станций среди малых земных станций фиксированной спутниковой связи: ЭИИМ не более 50 дБВт; мощность передатчика не более 2 Вт; диаметр антенны не более 2,4 м.

К 2005 г. уже Мининформсвязи России и новый состав ГКРЧ практически повторили это решение (№04-03-02-001 от 06.12.04), но, к сожалению, не сделав дальнейших шагов к упрощению нормативных положений.

Однако в середине текущего года своим решением ГКРЧ ввела заметное послабление, отменив необходимость представления выкопировок с мелкомасштабных карт по месту установки VSAT-станций, но точность измерения координат этого места повышена до 10 секунд (решение ГКРЧ № 06-12-05-056 от 27.12.06).

И все же даже данные Решения ГКРЧ относительно VSAT Ku имеют существенное значение, так как юридически устанавливают адекватность параметров VSAT-станций в России, принятым для стран Района 1 в диапазоне частот 14-14,5 ГГц, и позволяют реально упростить все процедуры частотного обеспечения при работе в нормативно выделенных полосах частот.

При этом очевидно (рис. 1), что не только Мининформсвязи определяет правила и условия развития VSAT в России, но и многие другие ведомства. Среди них существенную лепту вносит Минздрав, который в лице санитарно-эпидемиологического надзора устанавливает свои допустимые нормы уровня электромагнитного излучения при воздействии на население и правила



1. Проектная документация
2. Исследование электромагнитной обстановки
3. Международная координация
4. Частотные экспертизы и разрешения
5. Санитарно-эпидемиологические экспертизы и заключения
6. Прочее

Рис.1 Примерное распределение дополнительных затрат при установке VSAT-станции (затраты на проектную документацию включают в себя сбор исходных данных, привязку типового проекта по месту с выпуском КД, командировочные расходы не включены)

обязательной экспертизы проекта на каждую VSAT с последующим экспериментальным подтверждением допустимого норматива для каждой станции на месте ее установки.

Соответственно представляет интерес анализ, установленных Минздравом норм и правил (применительно к современной технологии VSAT), а теперь и Роспотребсоюзом, в основе которых лежит принцип "презумпции виновности" владельца передающей станции.

При этом все земные станции спутниковой связи для санитарно-эпидемиологической службы Роспотребсоюза равнозначны, а нормы, установленные в действующем СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03, сохранились, даже 50-летней давности.

Допустимый уровень электромагнитного поля

В каждой стране существуют свои правила нормирования источников радиоизлучений с точки зрения допустимого уровня электромагнитного поля, который считается безвредным для населения. Значение этого уровня зависит от частоты электромагнитной волны и других физических факторов. В настоящее время большинство стран придерживаются единой оценки допустимого уровня для источников радиоизлучения СВЧ-диапазона (в том числе и в Ku-диапазоне).

Необслуживаемые станции спутниковой связи, например типа VSAT, в соответствии с международными определениями относятся к источникам электромагнитного излучения, для которых в подавляющем большинстве стран принята норма допустимого уровня плотности потока мощности 1000 мкВт/см². Эта норма определена международными рекомендациями по допустимому воздействию радиоизлучения на население и узаконена национальными и региональными стандартами:

- стандарт CENELEC, ENV50166-2 (Европейский союз);
- рекомендации IGNIRP (международный статус);
- рекомендации ANSI/IEEE C95.1-1999 (США);
- стандарт Safety Code 6 (Канада);
- стандарт ARIB, RCR STD-38 (Япония).

В России еще 50 лет назад было принято более жесткое требование и до сих пор сохранено в СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 (и других нормативных документах), которые устанавливает допустимую норму для населения не более 10 мкВт/см² без учета экспозиции (то есть по сравнению с общепринятой в мире нормой на два порядка более жесткую).

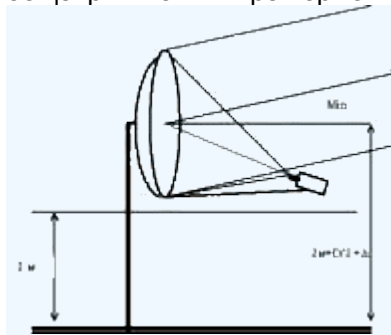


Рис.2 Типовое ограничение на установку антенны VSAT-станции

Таким образом, можно констатировать, что при оценке границ санитарных зон, норма 10 мкВт/см², действующая сегодня в России, предусматривает многократный запас (на два порядка) относительно международных норм.

Для кратковременного пребывания людей в зоне воздействия радиоизлучения, обусловленного их профессиональной деятельностью (например, в период технического обслуживания, ремонта, настройки VSAT-станции и т. п.), допустимый уровень определяется в зависимости от времени воздействия (от экспозиции). Например, для восьмичасового рабочего дня СанПиН 2.2.4.1199-03 устанавливает допустимый уровень 25 мкВт/см². Аналогичная норма в большинстве других стран составляет 5000 мкВт/см². Принципиальное отличие российских нормативов от общепринятых в мире создает вполне очевидные проблемы. Особенно при внедрении в России новых телекоммуникационных технологий (например, ни один сотовый телефон не отвечает норме, установленной в России для этого класса РЭС).

Научный ответ на вопрос о том, какая норма "правильнее", получить не удастся уже полвека. Косвенно можно утверждать, что принятая в мире норма 1000 мкВт/см² и существующая уже не одно десятилетие для нескольких миллиардов людей, является безвредной и в России. Возможно, при формировании Технических регламентов (как это предусмотрено ФЗ "О техническом регулировании") эта норма и будет пересмотрена в сторону ее гармонизации с мировым опытом, но сегодня действует СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03, в котором установлена норма 10 мкВт/см².

В данном случае задача заключается в анализе технической обоснованности всех процедур, предусмотренных Минздравом России, при получении разрешений на проектирование и

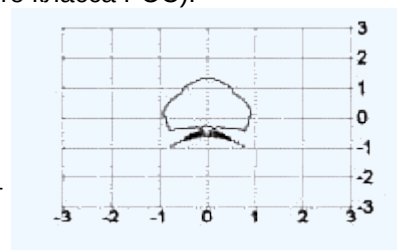


Рис.3 Контур плотности потока мощности по уровню 10 мкВт/см², создаваемый VSAT-станцией с антенной 0,9 м и передатчиком 2 Вт при рабочем угле места 7°

эксплуатацию станций класса VSAT, параметры которых отвечают международным (передатчик не более 2 Вт, ЭИИМ не более 50 дБВт). Но норма на допустимый уровень электромагнитного излучения в зоне установки такой станции определяется в соответствии с требованиями российской нормативной базы.



Рис.4 Контур плотности потока мощности по уровню 10 мкВт/см², создаваемый VSAT-станцией с антенной 2,4 м и передатчиком 2 Вт при рабочем угле места 7°

Особенности VSAT-систем

В составе станции VSAT используются исключительно высоконаправленные антенны. Излучение электромагнитной волны происходит строго в основном осевом направлении антенны VSAT-станции с углом расхождения луча обратно пропорциональным диаметру ее антенны. В "конусе" основного луча сосредоточено не менее 90% энергии. Существенным свойством станций спутниковой связи класса VSAT является то, что они автоматически прекращают свою работу на излучение, если нет оптической видимости геостационарного спутника, на который передается сигнал от этой станции. Таким образом, определение зоны ограничения застройки для станций класса VSAT не применимо, поскольку любое физическое препятствие на пути распространения электромагнитной волны (например, в виде стены здания или застекленного витража) приводит к автоматическому прекращению работы, а

соответственно и невозможности излучения станции класса VSAT.

И, наконец, VSAT-станция может работать только под управлением центральной станции (или станции, выполняющей такие функции). Соответственно контроль и управление ею осуществляется строго централизованно, и при возникновении любых нештатных ситуаций любая VSAT-станция сети может быть дистанционно переведена на другую рабочую частоту, либо ее излучение подавлено. Именно это обстоятельство принципиально отличает VSAT-технология от обычной технологии организации каналов связи с использованием магистральных станций спутниковой связи или малых земных станций и является основанием для принципиального упрощения процедуры получения разрешений на их эксплуатацию.

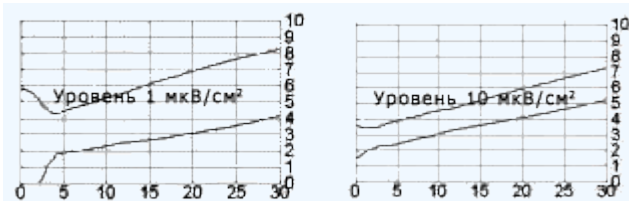


Рис.5 Границы луча антенны VSAT размером 2,4 м при мощности передатчика 2 Вт в вертикальной плоскости

При этом коэффициент усиления антенны VSAT-станции (а точнее его огибающая) строго контролируется в процессе получения разрешения на эксплуатацию, а затем - оператором спутника связи на соответствие нормам и рекомендациям ИТУ-R (табл.1).

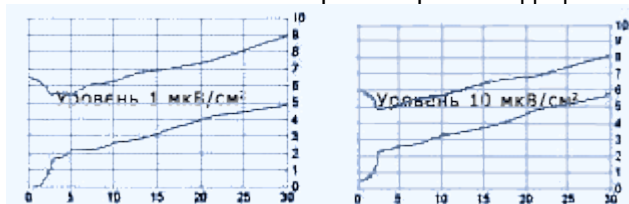


Рис.6 Границы луча антенны VSAT размером 0,9 м при мощности передатчика 2 Вт в вертикальной плоскости

Нормы, приведенные в табл. 2, являются универсальными и идентичными нормам, установленным операторами спутников сетей "Экспресс". Они не зависят от типа используемой антенны, а определяются только электрическим размером ее раскрытия. Однако следует сделать одно существенное замечание. Правила нормирования допускают, что огибающая диаграммы направленности только в 90% точек (угловых направлений) может быть ниже заданного уровня (табл. 1). При этом выбросы (в пределах оставшихся 10%) не могут превосходить 3 дБ при

углах менее 9,2° и 6 дБ при больших углах. В результате максимальное усиление антенны за пределами углового сектора основного лепестка косвенно допускается большим, чем заданное огибающей ДН, но все же не может превышать:

$$\max G(\theta) < \begin{cases} 35-25 \text{ Lg}\theta, \text{ дБ} - \text{ для углов } 100^\circ/\lambda D < \theta \leq 48^\circ \\ -4 \text{ дБ} - \text{ для углов } \theta > 48^\circ, \end{cases} \quad (1)$$

где $\max G(\theta)$ - максимальный коэффициент усиления антенны в направлении θ ;
 λ - рабочая длина волны;

D - физический размер раскрыва антенны.

Учитывая ограничение на максимальную мощность излучения (2 Вт) VSAT Ku, получим, что предельно возможные пиковые выбросы ЭИИМ в секторе углов $100^\circ \lambda/D < \theta \leq 180^\circ$ (то есть вне углового сектора основного лепестка) не могут быть более:

$$\text{ЭИИМ}_{\text{max}} = P^* \max G(\theta) < \begin{cases} 38-25 \text{ Lg}\theta, \text{ дБВт} - \text{ для углов} \\ 100^\circ \lambda/D < \theta \leq 48^\circ \\ -1 \text{ дБВт} - \text{ для углов } \theta > 48^\circ, \end{cases} \quad (2)$$

Таблица 1. Нормы на огибающую диаграммы направленности антенн станций спутниковой связи типа VSAT в Ku-диапазоне частот на передачу.

Intelsat, IESS-601	Eutelsat, EESS 500, EESS 502	ITU-R, SM 1448
29–25 Lgθ, дБ для углов $100^\circ \lambda/D \leq \theta \leq 20^\circ$;	$D/\lambda \geq 5$ 0	29–25 Lgθ, дБ для углов D/λ не указано
-3,5 дБ для углов $20^\circ < \theta \leq 26,3^\circ$;	2,5° < θ ≤ 7°;	29–25 Lgθ, дБ для углов $\theta r < \theta \leq 36^\circ$;
32–25 Lgθ, дБ для углов $26,3^\circ < \theta \leq 48^\circ$;	+8 дБ для углов $7^\circ < \theta \leq 9,2^\circ$;	-10 дБ для углов $\theta \leq 36^\circ$;
-10 дБ для углов $\theta > 48^\circ$	32–25 Lgθ, дБ для углов $9,2^\circ < \theta \leq 48^\circ$;	$\theta r = 100^\circ (\lambda/D)$ при $35 \leq D/\lambda \leq 100$;
32–25 Lgθ, дБ для углов $100^\circ \lambda/D < \theta \leq 48^\circ$;		$\theta r = 15,86(D/\lambda) - 0.6$ при $D/\lambda > 100$
-10 дБ для углов $\theta > 48^\circ$		-10 дБ для углов $\theta > 48^\circ$
32–25 Lgθ, дБ для углов $100^\circ \lambda/D < \theta \leq 48^\circ$;	$D/\lambda \leq 5$ 0	
-10 дБ для углов $\theta > 48^\circ$		
Примечание. Применяется, в том числе, для вновь устанавливаемых антенн стандарта Intelsat-G	Примечание. Отдельные точки при $T < 9,2^\circ$ могут превосходить этот уровень на 6 дБ, а при $9 < 9,2^\circ$ - не более чем на 3 дБ	Примечание. Принимается при расчете координационных зон

Таблица 2. Нормы на огибающую спектральной плотности ЭИИМ антенн станций спутниковой связи типа VSAT в Ku-диапазоне частот.

EN301 428	ITU-R, S.728-1
33–25 Lgθ, дБВт/40кГц - для углов $2,5^\circ < \theta \leq 7^\circ$;	33–25 Lgθ, дБ - для углов $2,5^\circ < \theta \leq 7^\circ$;
+12 дБВт/40кГц - для углов $7^\circ < \theta \leq 9,2^\circ$;	D/λ не указано
36–25 Lgθ, дБВт/40кГц - для углов $9,2^\circ < \theta \leq 48^\circ$;	+12 дБ - для углов $7^\circ < \theta \leq 9,2^\circ$;
-6, дБВт/40кГц - для углов $\theta > 48^\circ$;	36–25 Lgθ, дБ - для углов $9,2^\circ < \theta \leq 48^\circ$;
+4, дБВт/40кГц - для углов $\theta > 70^\circ$	-6 дБ - для углов $\theta > 48^\circ$
Примечание. Основой указанных норм являются рекомендации	ITU-R S.580-5 и S.465-5

Соотношение (2) справедливо только в дальней зоне ($R > R_p$) излучения антенны. Оно допускает более высокое значение ЭИИМ, чем принято при расчете координационных зон (табл. 2), но показывает, что для станций спутниковой связи типа VSAT (впрочем, как и для любой другой станции фиксированной спутниковой связи) параметры излучения не могут произвольно изменяться, и даже пиковые значения нормативно ограничены. Соответственно параметры VSAT Ku строго ограничены и идентичны (не зависят от поставщика и/или фирмы изготовителя), в том числе и в ближней зоне излучения, то есть в месте установки VSAT-станции

Анализ расчетных соотношений МУК 4.3.1167-02

Методика расчета в процессе экспертизы со стороны СЭС сводится к оценке уровня плотности потока мощности (в методиках и нормативных документах Минздрава это понятие исторически определяется как плотность потока энергии - ППЭ) в зоне размещения станции спутниковой связи. Основной (официальный) метод расчета представлен в Методических указаниях МУК 4.3.1167-02 "Определение плотности потока энергии электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц", которые одобрены Минздравом и введены в действие с 2002 г. (главным санитарным врачом РФ). На основе этого документа разработан программный комплекс анализа электромагнитной обстановки (ПК АЭ-МО), рекомендуемый Минздравом РФ для использования в учреждениях Госсанэпидслужбы РФ. Методические указания разработаны сотрудниками Самарского отраслевого НИИ Радио, а ПК АЭМО-СоНИИР - в содружестве с компанией "СМАРТС", специализирующейся в области сотовой связи. Соответственно МУК и ПК АЭ-МО

ориентированы в первую очередь на задачи операторов сотовой связи, но обеспечивают и расчет полей в зоне установки антенн станций фиксированной спутниковой связи, а, следовательно, и станций класса VSAT.

Расчет ППМ в "ближней зоне" (для $R \ll 2D^2/\lambda$) сводится к вычислению поля в заданных точках пространства с учетом поля облучателя (или контррефлектора в двухзеркальных антеннах) и применении коэффициента пересчета известной интенсивности "дальнего поля" в "ближнее". При этом конечные результаты расчета интенсивности электромагнитного поля в непосредственной близости от антенны являются завышенными по двум основным причинам.

Во-первых, коэффициент пересчета в непосредственной близости от антенны ($R \ll 2D^2/\lambda$) представляет собой быстро осциллирующую функцию. Возможна только граничная оценка огибающей этой функции, которая и приведена в МУК 4.3.1167-02. В так называемой реактивной зоне "ближнего поля", тем более за пределами "прожекторного" луча антенны, эта функция может рассматриваться только в качестве предельной оценки.

Во-вторых, электрический размер раскрытия облучателя (d/λ) выбирается исходя из заданного условия облучения края зеркала. Для выполнения заданного соответствия формы огибающей ДН антенны необходимо иметь уровень облучения края зеркала не более -10 дБ относительно максимального усиления облучателя, что и соблюдается на практике (несоблюдение этого требования, то есть облучение более -10 дБ приведет к невыполнению условий табл. 1 и 2). За пределами сектора облучения основного зеркала $2\varphi_0$ усиление облучателя постепенно снижается и заведомо менее -10 дБ. Отметим, что по условию задачи точка наблюдения ППМ всегда расположена в дальней зоне облучателя. В МУК 4.3.1167-02 усиление G_0 облучателя за пределами углового сектора облучения зеркала $2\varphi_0$ принято постоянным, т.е. равным $0,1 G_0$.

Указанные факторы завышают расчетный уровень ППМ вблизи антенны относительно истинного значения.

Таким образом, можно утверждать, что границы санитарных зон, вычисленные на основе МУК 4.3.1167-02, обеспечивают выполнение нормы по допустимому уровню ППМ с большим запасом.

Результаты расчетов и экспериментов

Для проведения расчетов в соответствии с МУК 4.3.1167-02 примем исходные данные, предусмотренные Решением ГКРЧ для VSAT-станций Ku-диапазона частот:

- мощность передатчика не более 2 Вт;
- ЭИИМ в осевом направлении не более 50 дБВт;
- антенна не более 2,4 м.

При этом дополнительно учтем ограничения, обусловленные практикой применения VSAT-станций (при меньших значениях невозможна работа по энергетическим соображениям):

- рабочий угол места не менее 7° ;
- размер раскрытия антенны не менее 0,9 м (для спутников "Экспресс АМ" не менее 1,2 м по условиям международной координации).

Угол облучения примем $2\varphi_0 = 80^\circ$ как наиболее приемлемый для реально применяемых для антенн VSAT-станций.

Многочисленные вычисления, выполненные с использованием МУК

3.13. Не требуется получения санитарно-эпидемиологического заключения на размещение, ввод в эксплуатацию и эксплуатацию ПРТО с эффективной излучаемой мощностью не более:

- 200 Вт - в диапазоне частот 30 кГц-3 МГц;
- 100 Вт - в диапазоне частот 3-30 МГц;
- ~10 Вт - в диапазоне частот 30 МГц-300 ГГц,

при условии размещения антенны вне здания, а также для ПРТО типа малых земных станций спутниковой связи класса VSAT Ku с мощностью излучения передатчика не более 2 Вт, работающих в полосе частот 14,0-14,5 ГГц, при соблюдении условия по п.3.16.

3.16. Рекомендуется размещение антенн ПРТО (в том числе РРС, РГД) на отдельно стоящих опорах и мачтах.

Допускается размещение передающих антенн на крышах жилых, общественных и других зданий и в иных местах при соблюдении условий по пп. 3.3, 3.4, 3.14, 3.15.

Размещение только приемных антенн не ограничивается, а передающих антенн малых земных станций спутниковой связи класса VSAT Ku не ограничивается при высоте подвеса центра антенны относительно поверхности земли не менее $2,1 m + D/2$ при размере раскрытия антенны D в пределах $D=0,9...2,4$ м и не требует получения санитарно-эпидемиологических заключений.

Примечание. Выделенным шрифтом даны предлагаемые дополнения.

4.3.1167-02 и учитывающие приведенные выше предельные значения, показывают, что определение санитарно защитной зоны для VSAT-станции не имеет физического смысла (даже с учетом завышения уровней ППМ) при высоте подвеса центра антенны относительно земли более $2,1 \text{ м} + D/2 + \Delta$, где D -максимальный размер раскрыва антенны. Объясняется это тем, что даже в наихудшем случае контур зоны по уровню 10 мкВт/см^2 находится практически внутри физического объема, занятого антенным постом.

Данный результат представлен на рис. 2 и является типовым ограничением на установку VSAT-станции при Δ не менее $0,1 \text{ м}$. На рис. 3 и 4 приведены расчеты контура уровней плотности потока мощности для граничных значений параметров VSAT в горизонтальной плоскости (аналог санитарно-защитной зоны), а на рис. 5 и 6 - для вертикальной плоскости (аналог зоны ограничения застройки).

Кроме того, были выполнены экспериментальные обмеры уровня электромагнитного поля в непосредственной близости от антенны (в горизонтальной плоскости на уровне $0,1 \text{ м}$ ниже нижнего края антенны) VSAT-станции как с использованием стандартных приборов (точность - до 30%), применяемых для этой процедуры лабораториями СЭС, так и с использованием более точных приборов и методов, которые подтвердили, что расчетные уровни ППМ вблизи антенны VSAT завышены в несколько раз.

Заключение

Анализ значений плотности потока мощности в непосредственной близости вокруг антенны VSAT-станции и в зоне основного ее луча, полученных с использованием сертифицированной в Минздраве методики МУК 4.3.1167-02, показывает, что нет оснований для назначения санитарно-защитных зон и зон ограничения застройки.

При этом расчетные значения уровней, полученные с использованием МУК 4.3.1167-02, являются заведомо завышенными, что обеспечивает безусловную надежность полученного результата.

Экспериментальные исследования уровней плотности потока мощности вокруг антенн VSAT-станций с размерами от $0,9$ до $2,4 \text{ м}$ подтверждают указанное выше заключение даже при их граничных параметрах (мощность передатчика 2 Вт , рабочий угол места - 7°).

Дополнительным подтверждением отсутствия необходимости назначения санитарно-защитных зон и зон ограничения застройки являются практически данные, полученные уже на тысячах российских VSAT-станциях, даже с учетом отечественных норм СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03, которые на два порядка жестче, чем принятые во всем мире.

Очевидно, что есть все основания для дополнения пп. 3.13 и 3.16 СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 (см. врезку), с целью исключения необходимости индивидуальных заключений, как минимум для станций спутниковой связи типа VSAT Ku, параметры которых в России установлены нормативами и многократно контролируются при частотных назначениях и регистрации РЭС на государственном уровне.
