

Задачи электромагнитной совместимости спутниковых систем на негеостационарных орбитах в настоящее время не имеют завершенного решения в случае совместного использования диапазона радиочастот. В связи с этим возникают конфликтные ситуации при выделении и распределении радиочастотного спектра для новых проектов систем LEO-/MEO-/HEO-HTS. Для решения этих задач разработан аппарат математического моделирования на основе анализа параметра C/I (“сигнал/помеха”). В данной статье представлен ряд результатов моделирования помеховой обстановки в Ku-диапазоне частот при совместной работе системы LEO-HTS (OneWeb) и HEO-HTS (“Экспресс-PB”).

Результаты моделирования многоспутниковых систем связи на низких и высокоэллиптических орбитах и оценка помеховой обстановки при совместном использовании полос радиочастот

Results of modeling of multisatellite communication systems on low and highly elliptical orbits and estimation of interference situation in the joint use of radio frequency bands



Валентин Анпилогов,

заместитель генерального директора
ЗАО “ВИСАТ-ТЕЛ”, к.т.н., доцент

Valentin Anpilogov,

Deputy General Director
JSC “VSAT-TEL”, Ph.D.,
associate professor



Андрей Гриценко,

генеральный директор
ИКЦ “Северная Корона”, к.т.н.

Andrey Gritsenko,

Director General
of ICC “North Crown”, Ph.D.

The tasks of electromagnetic compatibility of satellite systems in non-geostationary orbits currently do not have a complete solution in the case of the joint use of radio frequency band. In this regard, there are conflicting situations in the allocation and distribution of radio frequency spectrum for new projects of LEO-/MEO-/HEO-HTS systems.

Ключевые слова:
низкоорбитальные спутники,
высокоэллиптические спутники,
моделирование помеховой
обстановки

Keywords:
LEO satellites, HEO satellites,
simulation of jamming conditions

To solve these problems, a mathematical modeling tool was developed based on the analysis of the C/I parameter (signal/interference). In this article, we present a series of simulation results for the interference situation in Ku-band frequencies when the LEO-HTS (OneWeb) and HEO-HTS (Express-PB) systems work together.



В период 2014–2017 гг. особое внимание уделяется проектам создания многоспутниковых группировок на низких орбитах со сверхвысокой пропускной способностью [1–5]. Класс таких систем получил общее обозначение LEO-HTS. Судя по параметрам систем LEO-HTS, заявляемым в FCC (<http://licensing.fcc.gov/myibfs/qReportExternal.do>), они превосходят самые передовые системы на основе геостационарных спутников HTS [4, 6, 7]. Эти системы относятся к фиксированной спутниковой службе. Соответственно, используемые диапазоны радиочастот в системах LEO-HTS и в системах на основе геостационарных спутников, в том числе и спутников HTS, идентичны. Сегодня наиболее востребованными диапазонами радиочастот являются Ku и Ka. Практически все геостационарные спутники связи, вещания и спутники HTS работают в этих диапазонах частот, и в тех же диапазонах частот планируется создание новых систем LEO-/MEO-/HEO-HTS. Борьба за радиочастотный ресурс между спутниковыми и наземными операторами уже ведется и в более высокочастотном диапазоне V [5]. Естественно, что вопросы электромагнитной совместимости (ЭМС) действующих и планируемых спутниковых сетей на основе геостационарных спутников связи и вещания и планируемых систем LEO-/MEO-/HEO-HTS являются чрезвычайно актуальными.

Взаимосвязь отношений C/I , C/N и $C/(N+I)$

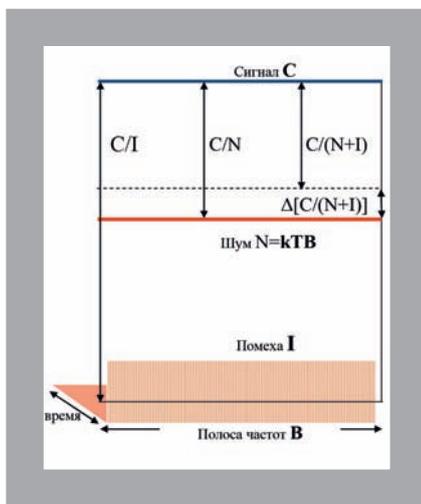


Рис. 1

Задача исключения помех для приемных абонентских станций спутникового вещания в Ku-диапазоне со стороны спутников LEO-HTS, расположенных в экваториальном поясе, является наиболее болезненной в силу массовости рынка спутникового вещания. Эта проблема достаточно подробно проанализирована в [9] на предмет соответствия параметрам статьи 22 Регламента радиосвязи. Следует отметить, что аналогичная проблема впервые возникла в 1990-х гг. в связи с низкоорбитальными проектами Teledesic и Sky-

Bridge [10]. Международная организация UTU-R сформировала соответствующую рекомендацию S.1503-2 (http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/s/R-REC-S.1503-2-201312-1!!PDF-R.pdf) и программный продукт на ее основе, который позволяет оценить уровень помех, создаваемых системой на негеостационарной орбите приемным станциям, работающим со спутниками на ГСО. Сегодня проблема совместной эксплуатации систем LEO-HTS и геостационарных спутниковых сетей обсуждается на уровне националь-

Графики изменения отношения C/I (дБ) в подспутниковой точке “Экспресс-РВ” с координатами 90 град. в.д., 60 град. с.ш.

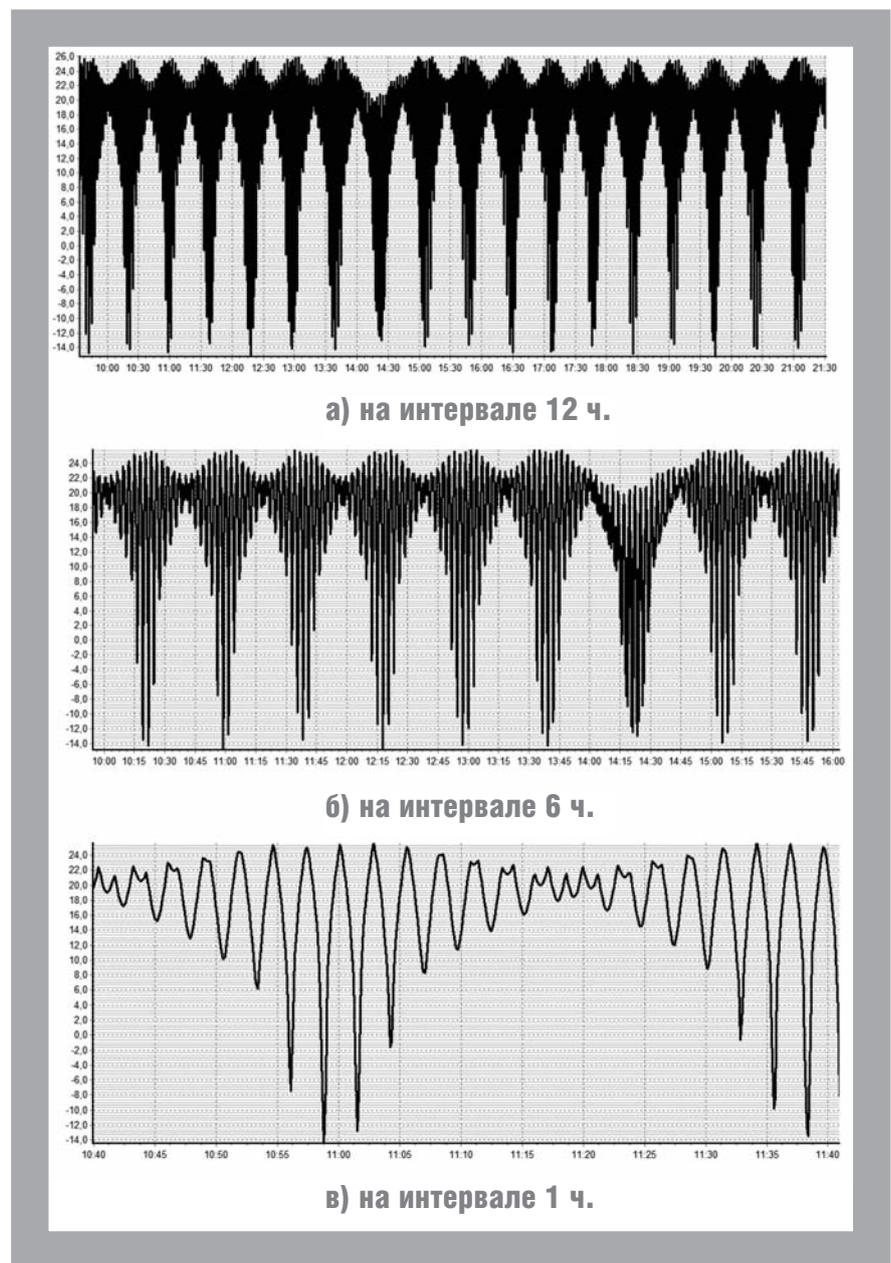


Рис. 2

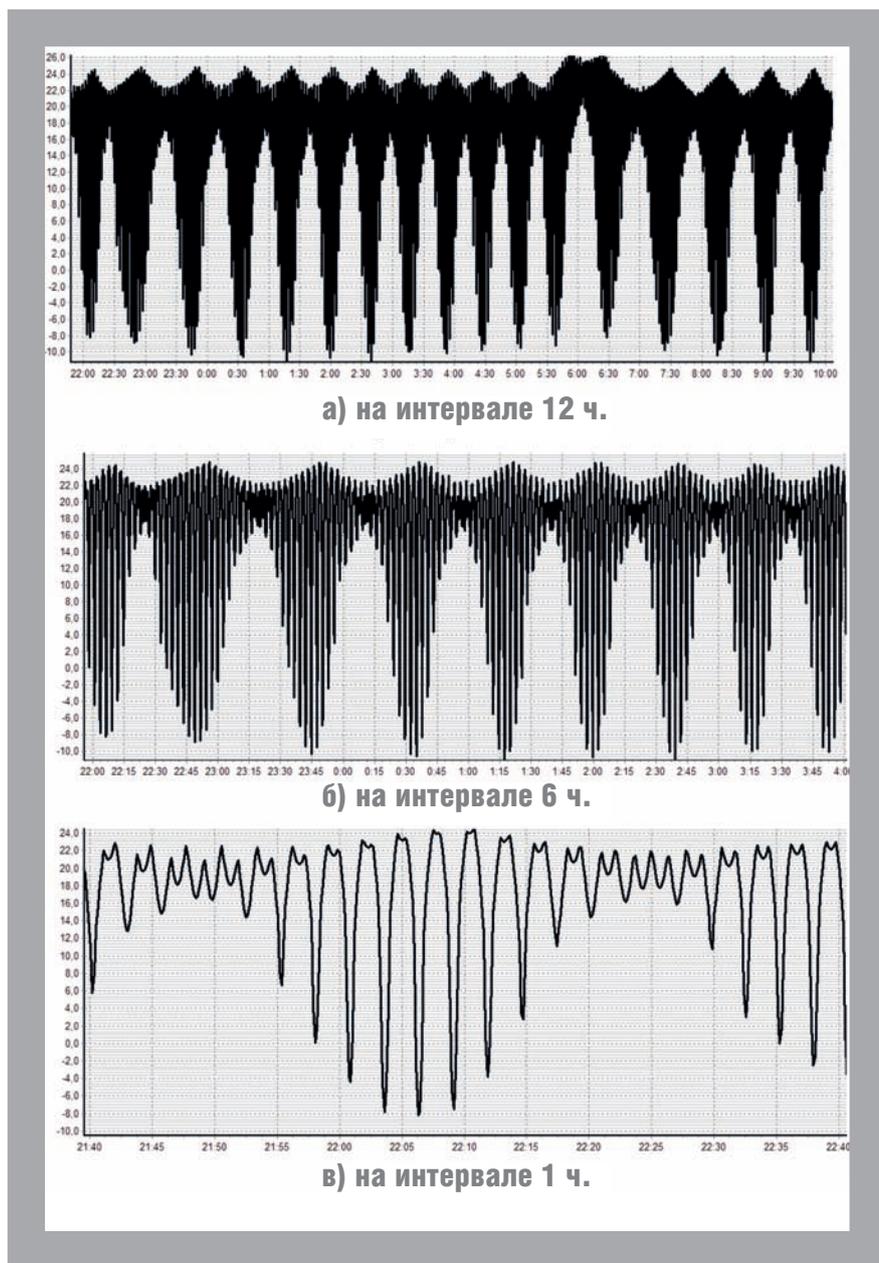


Рис. 3

ных администраций связи и международной организации ИТУ применительно к новым проектам систем LEO-HTS в Ku- и Ka-диапазонах. В 2017 г. единственная система OneWeb получила одобрение администрации связи США, предложив свой уникальный способ снижения уровня помех до значений, допустимых Регламентом радиосвязи. Этот способ сводится к тому, что при пересечении экваториального пояса низкоорбитальный спутник “подворачивается” с целью минимизации помех [4], но при пересече-

нии экваториальной плоскости все же должен быть выключен. Однако вопросы совместной работы систем, реализуемых на основе негеостационарных спутников, сегодня остаются неопределенными и нерешенными.

Вопросы электромагнитной совместимости негеостационарных систем

Неопределенность этих вопросов, во-первых, связана с отсутствием четких норм и рекомендаций ИТУ-R применительно к негеостационар-

ным системам. Во-вторых, моделирование процесса взаимного влияния при исследовании многоспутниковых систем на негеостационарных орбитах является многопараметрической задачей, требующей учета особенностей баллистического построения их космических группировок, реализации многолучевых антенн и формирования рабочих зон каждого отдельного спутника.

Решение этой задачи в общем виде невозможно по причине большого разнообразия негеостационарных орбит [11]. В данном случае представлены результаты моделирования помеховой обстановки для приемных терминалов Ku-диапазона в спутниковой системе, реализуемой на основе спутников на орбите типа “Тундра”, при работе низкоорбитальной спутниковой системы с использованием полярных орбит. В качестве типовых параметров для моделирования были приняты предполагаемые проектные значения спутников “Экспресс-РВ” [3, 13, 14] и спутников OneWeb [12], которые кратко представлены в таблице 1. Кроме того, принято, что полосы частот информационных потоков идентичны, а распространение сигналов предполагает условие “ясного неба”.

В качестве диаграммы направленности антенны абонентской станции (АС) в системе “Экспресс-РВ” использовалась модель, представленная в Рек. S.1428-1. На этапе моделирования электрическая ось антенны АС непрерывно смещалась с направлением на активный спутник “Экспресс-РВ”. Шаг моделирования был принят 2 сек. На каждом шаге выполнялся расчет уровней сигнала, помехи и отношения “сигнал/помеха” (С/І) на входе приемника АС. В качестве источника помехи на каждом шаге выбирался один из спутников OneWeb, который создавал максимальную мощность на входе АС. Критерием возникновения помеховой ситуации являлось снижение отношения С/І ниже требуемого значения. Требуемое значение С/І зависит от значения “сигнал/шум” (С/Ν) и заданного защитного коэффициента К (см. рис. 1): $C/I = C/N + K$, дБ.

Результаты моделирования на примере совместной работы OneWeb и “Экспресс-РВ”

На рис. 2 иллюстрируется уровень помех, которые создают спутники



Исходные параметры негеостационарных систем при моделировании

Параметр	OneWeb	“Экспресс-РВ”
Тип орбиты	“Полярная”	“Тундра”
Большая полуось, км	7571	42 164
Наклонение, град.	87,9	62,8
Эксцентриситет	0	0,27
Число плоскостей	18	3
Число КА в плоскости	36	1
ЭИИМ, дБВт/1МГц	10,6	29,7

Таблица 1

системы OneWeb для АС-системы “Экспресс-РВ” в центре ее рабочей зоны. Мощность помехи определяется одним из спутников системы OneWeb, который дает основной

вклад (более 90%). Аналогичная иллюстрация представлена для случая размещения приемной станции системы “Экспресс-РВ” на границе ее рабочей зоны при угле места 40 град.

Помехи для приемного терминала с антенной 0,4 м

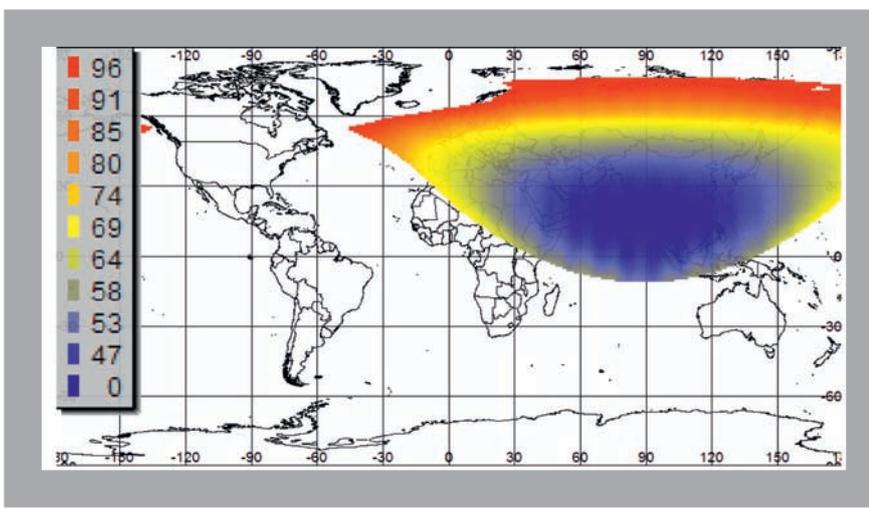


Рис. 4

Помехи для приемного терминала с антенной 0,9 м

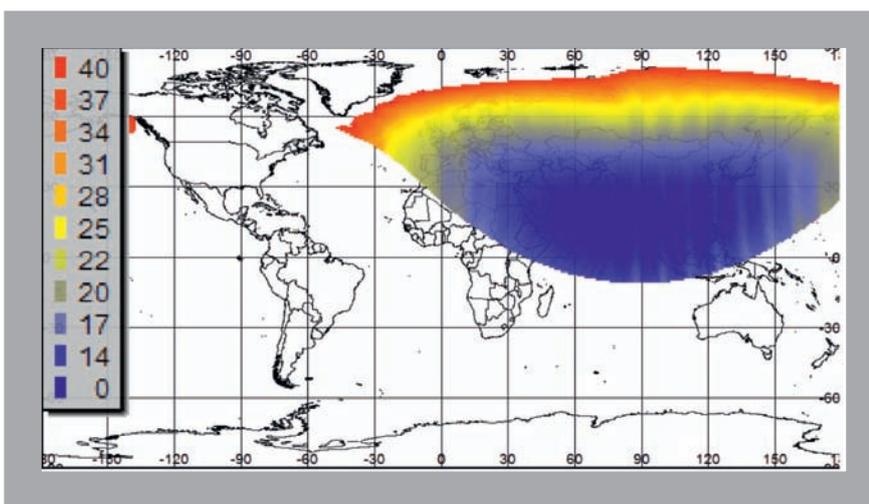


Рис. 5

Данные рис. 2 и 3 показывают, что максимальное (предельное) значение C/I составляет около 26 дБ, которое может быть достигнуто в центре рабочей зоны спутника “Экспресс-РВ” и примерно 22 дБ на ее границе. Таким образом, отмеченная в [13] проблема 100% “засветки” приемных терминалов “Экспресс-РВ” будет наблюдаться, если потребовать соотношение $C/I = 22-26$ дБ. Но помехи носят “волнообразный” характер. Каждая “волна” включает серию своих “пиков”. Размер и число таких “пиков” определяется требуемым отношением C/I . Например, при требуемом $C/I = 12$ дБ каждая “волна” будет иметь продолжительность около 20 мин. и включать до восьми “пиков” с продолжительностью около минуты. “Засветка” на большом интервале времени дает обобщенный результат и зависит от географического расположения АС. Обобщенные показатели C/I в рабочей зоне системы “Экспресс-РВ” иллюстрируются на рис. 4 и 5, где в качестве критерия принято соотношение $C/I = 22$ дБ, которое достигается в рабочей зоне “Экспресс-РВ” с разной вероятностью. На рис. 4 минимальная процентная вероятность составляет 42%, максимальная – 96%, на рис. 5 минимальная процентная вероятность составляет 11%, максимальная – 40%.

Следует отметить, что значение спектральной плотности ЭИИМ (см. таблицу 1) для системы “Экспресс-РВ” указано для крайних отклоненных лучей. В центральном луче это значение примерно на 4–7 дБ выше [14]. Естественно, процентная вероятность заданного уровня помех изменится, но это не даст кардинального положительного результата.

Выводы

Разработанная модель негеостационарных многоспутниковых систем позволяет оценить помеховую обстановку при заданном критерии C/I и дать заключение о возможности их одновременной работы в совместных полосах радиочастот.

Результаты моделирования совместной работы системы OneWeb и “Экспресс-РВ” в Ku-диапазоне показывают, что абонентские станции “Экспресс-РВ” будут подвержены значительным постоянным помехам (при $C/I = 22-26$ дБ 100% времени). В результате достижимое

значение C/N в абонентских радиолиниях системы “Экспресс-РВ” и, соответственно, возможность применения высоких сигнально-кодовых конструкций при небольших размерах абонентских антенн (0,4 м – 0,9 м), ограничено. Представленные результаты относятся к варианту реализации “Экспресс-РВ” на основе орбиты “Тундра”. При использовании орбит типа “Молния” результаты могут быть иными, но ожидать кардинального улучшения помеховой обстановки нет оснований.

Одним из путей, который можно рассмотреть для обеспечения работы системы “Экспресс-РВ” на фоне помех, создаваемых многоспутниковой группировкой OneWeb, является использование сигналов с низкой спектральной эффективностью при одновременном увеличении числа лучей. Но эта задача требует дополнительного моделирования и оценки технико-экономической эффективности системы.

Литература

1. Анпилогов В., Фуркан М., Данианц В., Эйбус А., Шестаков А., Кукк К. Многоспутниковые системы LEO-HTS: “подрывная инновация” в области спутниковой связи или мыльный пузырь? / Технологии и средства связи. – Специальный выпуск “Спутниковая связь и вещание-2016”. – 2015. – № 6–2. С. 32–36.
2. Калюбакин В. Геостационарные и негеостационарные спутники: конкуренция или синергия / Теле-Спутник. – 11.07.2017. [online] Доступ через: <http://www.telesputnik.ru/materials/tekhnikatekhnologii/article/geostatsionarnye-i-nengeostatsionarnye-sputniki-konkurenciya-ili-sinergiya/>.
3. Гриценко А. Высокоскоростные спутниковые системы LEO-/MEO-/HEO-HTS – текущее состояние и перспективы развития. Доклад на форуме CSTB. Telecom & Media – 2017. – Москва. [online] Доступ через: http://www.spacecenter.ru/Resourses/2017/LEO_MEO_HEO-HTS_Gritsenko_2017.pdf.
4. Спутниковый широкополосный доступ на основе технологии HTS (GEO-/MEO-/LEO-/HEO-HTS). Аналитический отчет J’son & Partners под редакцией Анпилогова В.Р. – Ноябрь 2016 г.
5. Негеостационарные многоспутниковые системы V-диапазона частот.

Аналитический отчет J’son & Partners под редакцией Анпилогова В.Р. – Апрель 2017 г.

6. Анпилогов В.Р. Эффективность низкоорбитальных систем спутниковой связи на основе малых космических аппаратов / Технологии и средства связи. – 2015. – № 4. С. 62–67.
7. Анпилогов В., Урличич Ю. Тенденции развития спутниковых технологий и критерии оценки их технико-экономической эффективности / Технологии и средства связи. – 2016. – № 2. С. 46–53.
8. Урличич Ю. Высокоскоростные системы связи и вещания HTS- и LEO-/MEO-HTS: бумажные проекты или прорывное направление космической индустрии / Технологии и средства связи. Специальный выпуск “Спутниковая связь и вещание-2017”. – 2016. – № 6–2. С. 44–48.
9. Lemme P. OneWeb: Key Characteristics and Aero Application. [online] Доступ через: <http://www.satcom.guru/2016/04/oneweb-first-look-at-their-filing.html>.
10. Kirtay S. Broadband satellite system technologies for effective use of the 12–30 GHz radio spectrum. Electronics & Communication Engineering Journal. – April 2002. P. 79–88. [online] Доступ через: <https://pdfs.semanticscholar.org/06a7/ec2da495ad1d3d3eac9c4cfe44b926e63b59.pdf>.
11. Степанов А., Акимов А., Гриценко А., Чазов В. Особенности построения и эксплуатации орбитальных группировок систем спутниковой связи / Технологии и средства связи. Специальный выпуск “Спутниковая связь и вещание-2016”. – 2015. – № 6–2. С. 72–87.
12. Анпилогов В., Гриценко А. Анализ многолучевой рабочей зоны спутников OneWeb / Технологии и средства связи. Специальный выпуск “Спутниковая связь и вещание-2017”. – 2016. – № 6. С. 78–86.
13. Анпилогов В.Р. Проблемы реализации и имплементации систем LEO-HTS / Технологии и средства связи. Специальный выпуск “Спутниковая связь и вещание-2017”. – 2016. – № 6. С. 30–34.
14. Локшин Б. Об одной возможности организации подвижной связи с ВЭО в Ku-диапазоне / Технологии и средства связи. Специальный выпуск “Спутниковая связь и вещание-2014”. – 2013. – 2. – № 6–2. С. 18–20.



ALL-OVER-IP

21–23 ноября 2018
Москва, Сокольники

- ИТ-инфраструктура и сети
 - Видеонаблюдение
 - Контроль доступа
- Управление идентификацией
 - Машинное зрение
- Комплексные системы безопасности
- Телекоммуникации, видеоконференцсвязь
- Системы хранения данных, дата-центры
 - Автоматизация зданий

Тренды 2018

- Умные города
- Нейронные сети, Deep Learning
- Интернет вещей. Аналитика данных
- Биометрия
- Облачные сервисы

Темы 2018

- Как конкурировать?
- На чем зарабатывать?
- Как продавать сервисы?
- Как сохранять лояльность клиентов?
- Как строить партнерское сообщество?
- К какой платформе присоединиться?
- В какие технологии инвестировать?
- Как обновлять существующие решения?
- Как менять устаревшие системы?
- Что дает сплав технологий – юзкейсы?

ТОЛЬКО БИЗНЕС - НИЧЕГО ЛИШНЕГО

Лучший ROI

- Лидеры инноваций.
- CEO Sessions – гурту менеджмента.
- Ключевые спикеры – визионеры.
- Партнерские сессии. Праздник Божоле.
- Максимальное количество контактов в единицу времени

www.all-over-ip.ru

Генеральный спонсор: **axxonsoft**
MEMBER OF ITVGROUP

groteck
Business Media

