

Спутниковый IoT – новые системы и новый рынок



Валентин АНПИЛОГОВ,
заместитель генерального
директора, АО «ВИСАТ-ТЕП»

IoT спутниковый или сотовый

Интернет вещей (IoT) предусматривает низкоскоростную передачу данных для формирования многочисленных сервисов контроля и управления любыми физическими явлениями и процессами, связанными с деятельностью и жизнеобеспечением человека. Сегодня IoT объединяет все понятия, которые ранее обозначали как АСУ ТП, SCADA, M2M и т. п., и, по сути, является источником информации для систем искусственного интеллекта (ИИ) в любых областях деятельности человека. Без внешних источников информации ИИ не может функционировать, тем более развиваться и обучаться. Для этого процесса придумано и название – «нейросеть», которая эмулирует деятельность нейронов человеческого мозга и ничего общего с сетью связи в обычном понимании не имеет. Это некий абстрактный



Андрей ГРИЦЕНКО,
генеральный директор
АО «Информационный космический
центр «Северная Корона»

топологический программный образ, условно соотнесенный с образом мышления человека.

Сегодня сервисы IoT и системы ИИ только начинают взаимную интеграцию.

Сервисы IoT базируются на обработке информации, получаемой от абонентских устройств IoT (ОУ – оконечные устройства) по различным сетям связи, реализуемым на основе различных физических каналов передачи данных.

Наиболее распространенной средой передачи данных являются сотовые сети и сети LPWAN. Количество ОУ в этих сетях достигает миллиардов и непрерывно возрастает, а сервисы IoT множатся, и уже проблематично даже перечислить все это множество.

Сегодня спутниковые сети подвижной спутниковой службы (Iridium, Globalstar и т. д.) имеют незначительный объем в названном сегменте, поскольку основаны на технических решениях, изначально предназначенных

В этой статье представлен анализ нового направления в области спутниковой связи, которое основано на интеграции спутниковых низкоорбитальных систем и сотовых сетей или сетей LPWAN. Создание таких бесшовных сетей создаст новый сегмент рынка спутниковой связи.

для иных задач (персональная голосовая связь и передача данных). Применяемые в них ОУ не способны конкурировать ни по ценовым, ни по эксплуатационным параметрам с аналогами в сотовых сетях и сетях LPWAN. Новые низкоорбитальные системы IoT могут изменить эту ситуацию кардинально.

Прогнозы развития рынка спутникового IoT

Прогнозы развития рынка спутникового IoT, представленные аналитическими компаниями за последние несколько лет, основанные на анализе перспективных низкоорбитальных спутниковых проектов с целевой функцией IoT, с каждым годом становятся все более оптимистическими. Итоговые результаты этих прогнозов представлены в табл. 1. Причем в этих прогнозах количество ОУ постоянно возрастает, а объем рынка в денежном выражении увеличивается.

Очевидно, что если в системах спутникового IoT будут достигнуты ценовые и эксплуатационные параметры, соизмеримые с аналогами в наземных сетях, то доступный рынок будет исчисляться не миллионами, а миллиардами ОУ. Такая ситуация хотя и возможна, но маловероятна

Таблица 1. Итоговые результаты прогнозов развития рынка спутникового IoT, представленные аналитическими компаниями

Аналитическая компания	Количество ОУ	Объем рынка	Темп увеличения объема рынка 2022–2031 гг.	Темп роста количества ОУ 2022–2031 гг.	Источник информации
Douglas Insights Lmt, (UK)	Нет данных	850 млн долл. в 2021 г. 6,0 млрд долл. в 2031 г.	20%	Нет данных	https://www.globenewswire.com/news-release/2022/10/12/2532511/0/en/Satellite-IoT-Market-is-Estimated-to-Grow-at-CAGR-of-20-2021-2028-Latest-Industry-Coverage-by-Douglas-Insights.html
Research And Markets (USA)	3,9 млн долл. в 2021 г. 21,6 млн долл. в 2026 г.	Нет данных	Нет данных	40,3%	https://www.researchandmarkets.com/reports/5456740/the-satellite-iot-communications-market-2nd
Transparency Market Research Inc. (USA)	Нет данных	737 млн долл. в 2020 г. 14 млрд долл. в 2031 г.	22%	Нет данных	https://www.transparencymarketresearch.com/satellite-iot-market.html
Northern Sky Research (USA)	2,7 млн долл. в 2019 г. 15,1 млн долл. в 2026 г. 35,0 млн долл. в 2031 г.	Нет данных	21,5% (в среднем)	Нет данных	https://www.nsr.com/smallsats-a-big-change-for-mss-iot/
IoT Analytics Research (Germany)	5,0 млн долл. в 2021 г. 22,0 млн долл. в 2027 г.	500 млн долл. 2021 г. 1,0 млрд долл. 2026 г.	14%	Нет данных	https://h9e3r9w2.rocketcdn.me/wp-content/uploads/2022/08/Satellite-IoT-Connectivity-Market-Snapshot-2022-2026-min.png https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/
Markets and Markets (USA)	Нет данных	1,1 млрд долл. в 2022 г. 2,9 млрд долл. в 2027 г.	21,9%	Нет данных	https://www.marketsandmarkets.com/ResearchInsight/satellite-iot-market.asp https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/satellite-iot-market-203680911.html
Allied Analytics LLP (U.S – Canada)	Нет данных	1,3 млрд долл. в 2022 г. 8,7 млрд долл. в 2032 г.	21,1%	Нет данных	https://www.alliedmarketresearch.com/satellite-iot-market-A74632
Mordor Intelligence (India)	5,0 млн долл. в 2023 г. 21,0 млн долл. в 2027 г.	Нет данных	Нет данных	39,2%	https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/satellite-iot-communication-market

в обозримой перспективе. Исходя из ряда аналитических данных, потенциал рынка спутникового IoT достигает 330 млн подключений ОУ, а объем рынка составляет примерно 12 млрд долл. в годовом выражении, из которых не менее 65% приходится на сервисы. В среднем по рынку ARPU это всего 2 долл. в месяц для ОУ. Причем подавляющее большинство подключений ОУ (до 85–90%) будет на основе прямого доступа к спутникам новых низкоорбитальных систем IoT (в том числе и к спутникам систем D2D). На рис. 1 представлена классификация систем спутникового IoT. В настоящей статье рассматриваются только системы с прямым доступом на основе низкоорбитальных систем.

Следует обратить внимание, что сервисы спутникового IoT с использованием прямого доступа ОУ в низкоорбитальных системах имеют более широкие возможности, чем традиционные сервисы IoT в сотовых сетях и сетях LPWAN.

Это обусловлено тем, что в низкоорбитальных системах IoT передача пакетов может осуществляться практически глобально с задержками, которые можно уже соотнести с режимом, близким к реальному времени, что в наземных сетях недостижимо.

Классификация сервисов спутникового IoT

Классификацию сервисов спутникового IoT можно провести по критерию требуемой задержки ответа на событие при обработке и доставке пакетов от ОУ к сетевому серверу и серверу приложения и в обратном направлении



РИС. 1. Классификация спутникового IoT по функциональным и техническим признакам сети (ПСС – системы Iridium, Globalstar, Inmarsat и т. п.; ФСС – системы на основе геостационарных спутников фиксированной спутниковой службы)

к ОУ. В табл. 2 приведена классификация сервисов IoT по критерию задержки передачи пакетов. Кроме того, в классификации

Таблица 2. Классификация сервисов IoT в спутниковой сети

Тип сервиса	Задержка	Примечание
Базовый типовой пейджер	От 300 мс до секунд До минут и часов	Полудуплекс, TDD Симплекс
Реальное время	Менее 300 мс	Дуплекс, FDD

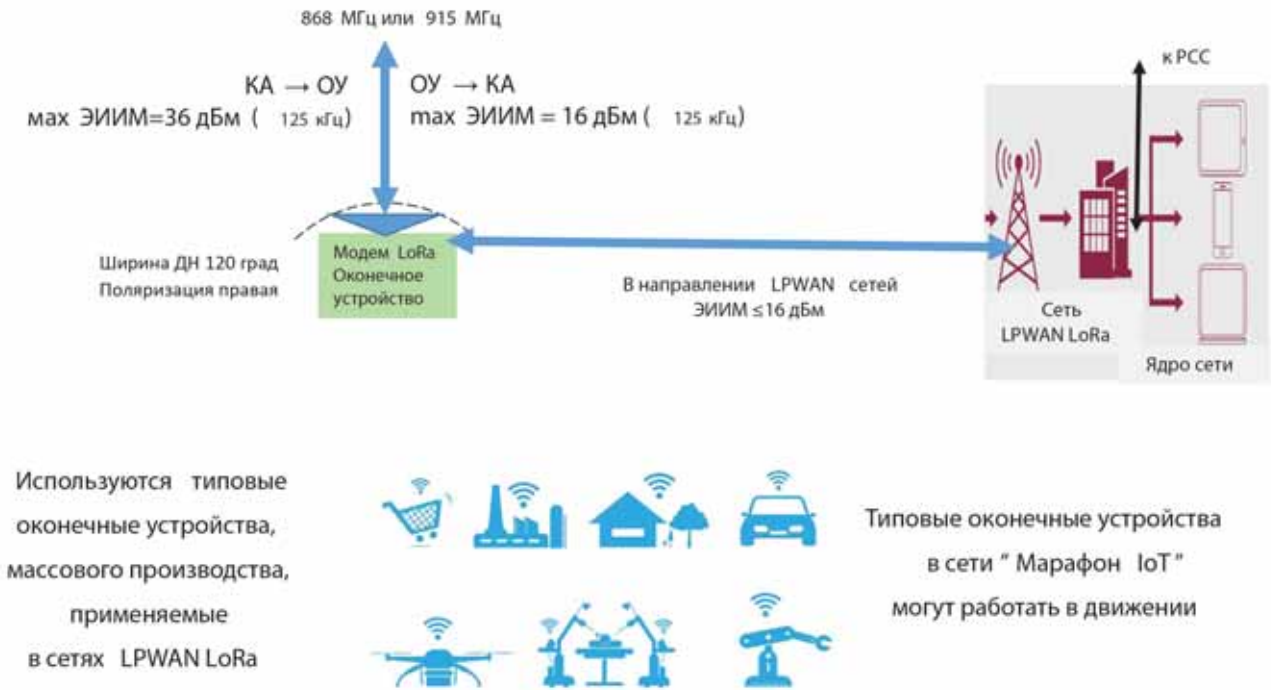


РИС. 2. Иллюстрация архитектуры регионального сегмента беспроводной спутниковой сети IoT для режима «Базовый»

учтено, что ряд сервисов IoT не требует двустороннего обмена пакетами (например, в ЖКХ), что обозначено как «пейджер».

При формировании многих сервисов IoT необходимо получать данные от ОУ с заданной циклическостью, но непрерывно. После принятия решения на сервере приложения (или с применением ИИ) формируются пакеты подтверждения (квитирования) или команды управления для ОУ. Однако это далеко не всегда и не везде можно обеспечить с использованием наземных сетей. Примерно 80% поверхности Земли не охвачены никакими наземными сетями связи. Соответственно только спутниковые технологии могут решить задачу предоставления сервисов, основанных на непрерывном контакте с ОУ за счет создания беспроводных спутниковых сетей с сотовыми сетями или сетями LPWAN. В современном мире это новый тренд развития спутниковых сетей. В идеале беспроводная сеть должна предусматривать применение в спутниковом компоненте тех же самых ОУ, протоколов и частот, которые используются в сотовых сетях или сетях LPWAN. Применительно к задачам IoT на рис. 2 иллюстрируется организация

беспроводной сети, в которой обеспечена интеграция спутникового компонента и сети LPWAN, и указаны типичные радиотехнические параметры ОУ (устанавливаются нормативно-правовыми документами национальных администраций связи, например, решения ГРЧ) для диапазонов ISM, т. е. для режима «Базовый». Также указано максимально допустимое значение ЭИИМ на канал применительно к низкоорбитальной спутниковой системе «Марафон IoT». Это типичные значения для любой страны мира.

Для режима «Реальное время» используются лицензируемые диапазоны частот. Например, в низкоорбитальной системе «Марафон IoT» предусмотрен S-диапазон, но может быть использован и иной диапазон спутниковой службы, предусмотренный Таблицей распределения полос радиочастот. Соответственно уже нет ограничений на значение ЭИИМ для ОУ, как это имеет место в диапазонах ISM. В итоге технология LoRa может быть сохранена и в режиме «Реальное время», но с линейным преобразованием частот передачи и приема, а класс работы ОУ должен быть В или С. При этом резко повышаются энергетика

радиоканалов и эквивалентная скорость в канале, но сохраняется одно из ключевых свойств технологии LoRa – работа ниже шумов (используется SF = 5 или 6) и устойчивость к Доплеру. Этот режим требует дополнительной доработки ПО сетевого сервера LoRa по отношению к ПО для типового режима работы (класс А). Следует подчеркнуть, что в данном случае уже от обычной батарейки работа ОУ будет ограничена или даже невозможна. Но появляются и новые возможности для новых сервисов. В частности, можно создавать поля контроля и подачи команд для быстро движущихся беспилотных систем либо обеспечивать передачу изображений с низким разрешением за счет передачи пакетов объемом по 255 байт, в том числе по нескольким каналам с полосой 250 кГц.

О системах D2D

В целом новые спутниковые сети с прямым доступом к абонентским средствам сотовых сетей и сетей LPWAN в источниках информации обозначают по-разному, но в соответствии с нормативно-правовым документом Федеральной комиссии по связи

США (February 23, 2023 FCC FACT SHEET Single Network Future: Supplemental Coverage from Space Notice of Proposed Rulemaking GN Docket No. 23-65), в котором эти сети впервые представлены, – они получили обозначение «сети с прямым подключением устройств» (Direct-to-Device – D2D). Этот документ FCC предусматривает новые правила радиочастотного обеспечения спутниковых сетей. Революционным решением является допущение использования спутниковой системой отдельных участков полосы частот, выделенной для сотовой сети.

Следует отметить, что в понятие D2D входят системы, предусматривающие прямую связь спутника как со смартфоном (например, AST Mobile, Lynk Global, SpaceX) в сотовых сетях, так и с устройствами IoT (Lacuna, «Марафон IoT» и др.) для работы в сетях LPWAN. Причем в смартфоне обеспечена возможность работы в сети на основе технологии Интернета вещей NB-IoT.

Основными перспективными технологиями спутникового IoT можно считать LoRa/LoRaWAN и NB-IoT. Общее число проектов спутникового IoT по состоянию на начало 2023 г. – не менее 38. Из них 40% основаны на LoRa/LoRaWAN и лишь 8% на NB-IoT, примерно 40% – проприетарные технологии и для 12% нет данных. Проприетарные технологии применительно к бесшовным сетям рассматривать нецелесообразно, поскольку бесшовные сети спутникового и сотового подключения от одного производителя создать невозможно, а адекватные ценовые и эксплуатационные параметры по отношению к аналогам в наземных сетях недостижимы.

В табл. 3 представлено сравнение технологий NB-IoT и LPWAN. Из приведенных данных следует, что адаптация NB-IoT к спутниковой системе более проблематична, чем LoRa/LoRaWAN. Решения этой задачи в материалах ассоциации сотовой связи 3GPP NTN пока не имеют однозначности.

Ценовые параметры ОУ на основе модулей NB-IoT и их

эксплуатационные свойства существенно хуже, чем при использовании LoRa/LoRaWAN, поскольку требуется компенсация эффекта Доплера. А для этого необходимо знание эфемерид всех низкоорбитальных спутников системы на стороне ОУ и дооснащение ОУ приемником (соответственно и антенной) глобальной навигационной системы, например ГЛОНАСС. Это в разы увеличивает и стоимость специализированных ОУ, и их энергопотребление для типового режима. Причем режим «Реальное время» обеспечить довольно сложно.

Бизнес-модель операторов сети D2D

Необходимо особо отметить, что бизнес-модель оператора спутниковой сети D2D (в том числе IoT), которая является компонентом бесшовной сети, заключается в том, что доход от подключений множества ОУ получает сотовый оператор или оператор сети LPWAN. Наземных национальных операторов может быть много. Они и взаимодействуют с конечными потребителями сервисов. Часть этих доходов (не менее 50%) направляется в пользу оператора спутниковой сети в соответствии с соглашениями. Соответственно для спутникового оператора бизнес связан с задачами в собственности наземным национальным операторам региональных станций сопряжения (продажа, аренда или лизинг), которые обеспечивают взаимодействие с орбитальной группировкой, контролируемой спутниковым оператором. Региональные станции сопряжения (PCC) являются инструментом для увеличения доходов наземного оператора за счет расширения зоны обслуживания (в пределах до 4500 км в диаметре), привлечения новых потребителей услуг и предоставления новых сервисов, в том числе недоступных в сотовых сетях или сетях LPWAN. Такая бизнес-модель была предусмотрена в Концепции создания системы «Марафон IoT», обеспечивающей организацию глобально распределенной инфраструктуры.

Важно, что формирование и работа национальных сетей на основе PCC являются суверенным процессом в соответствии с законодательством конкретной страны. При необходимости создаваемая сеть на основе PCC может даже не иметь сопряжения с сетями общего пользования, а, следовательно, максимально защищена от возможных внешних воздействий.

Отсюда следует, что ключевыми задачами при условии коммерциализации системы D2D являются не только минимизация себестоимости создания орбитальной группировки, но и минимизация стоимости PCC при условии обеспечения сервисной поддержки, что необходимо при ее строительстве и эксплуатации.

Итоги

Анализ многочисленных аналитических материалов показывает, что низкоорбитальные системы D2D, в том числе с целевой функцией IoT, – это новый тренд в спутниковой связи. Их реализация создаст новый сегмент рынка спутниковой связи за счет организации бесшовных глобальных сетей. Объем данного сегмента может достигать миллиардов долларов и более уже в ближайшие годы.

Анализ технических решений показывает, что многие проблемы понятны и могут быть успешно решены. Некоторые еще ждут своего окончательного решения (например, применение технологии NB-IoT).

Следует особо отметить, что системы D2D – это не системы спутникового широкополосного доступа. Скорости каналов «вниз» при работе со смартфоном не превышают десятка мегабит в секунду, а «вверх» в разы меньше. В ряде случаев, например для сервисов IoT, эквивалентные скорости каналов требуются не более десятков кбит/с. Однако в спутниковых системах IoT достигается новое качество, недоступное для наземных сетей, – предоставление различных сервисов, требующих приближения передачи информации к реальному времени.

Таблица 3. Сопоставление технологий NB-IoT и LoRa применительно к низкоорбитальной спутниковой сети в режиме «Базовый»

Параметр	Технологии LPWAN	
	NB-IoT	LoRa/LoRaWAN
Диапазон частот для типовых модулей	ниже 6 ГГц (LTE)	ниже 1 ГГц (ISM)
Массовость абонентских устройств IoT на мировом рынке	80–83%	14–15%
Стоимость оборудования базовой станции	\$15 000	от \$100 до \$1000
Относительная стоимость типового оконечного устройства (модема)	1	0,5
Стоимость частотной лицензии	миллионы \$ за МГц	\$0 (диапазоны ISM)
Работа типовых абонентских устройств от обычной батарейки	до 2–5 лет	до 7–10 лет
Работа типовых абонентских устройств без прямой видимости КА	нет возможности	возможно (запасы до 14 дБ)
Максимальный объем пакета на линиях «вверх» / «вниз»	до 1600/1600 байт (примерно)	255/255 байт
Типичная полоса частот канала	180 кГц	125 кГц
Устойчивость технологии к эффекту Доплера	нет устойчивости (допустимо до 950 Гц)	до 25–30% от полосы канала
Обслуживание быстро перемещающихся потребителей (без приемника ГНСС)	нет возможности	до нескольких км/с (при SF=5)
Внутрисистемное геопозиционирование абонентов (без приемника GNSS)	нет возможности	до 500 м
Минимальное требуемое отношение уровня сигнала к шуму (C/N)	C/N > -5,4 дБ (TS36.101, tabl. 8.2.1.1.1-2)	C/N > -22 дБ

в сотовых сетях. Критерием выбора технических решений среди альтернативных вариантов является обеспечение коммерциализации системы в целом.

Пока юридически нечетко определено радиочастотное обеспечение бесшовных спутниковых сетей, которое основано на п. 4.4 Регламента радиосвязи (PP) (например, AST Mobile, Lynk Global, SpaceX, «Марафон IoT»), что не приветствуется службами административной связи. Новое положение, которое введено FCC, устанавливает возможность применения спутниковыми системами D2D части полосы частот сотовых операторов без ссылки на п. 4.4 PP, т. е. допускается в Таблице распределения радиочастот. С одной стороны, это положительное революционное решение, с другой – есть опасность, что в перспективе данное решение FCC может привести к необходимости координации новых низкоорбитальных систем с уже заявленными США по п. 4.4 PP, и Российская Федерация окажется в хвосте этой очереди. ■

С точки зрения коммерциализации систем D2D (и целевых низкоорбитальных систем типа «Марафон IoT») ключевое

условие – достижение ценовых и эксплуатационных параметров абонентских устройств и сервисов, соизмеримых с аналогами

Авторы выражают благодарность К.В. Лазаренко за помощь в подготовке статьи.

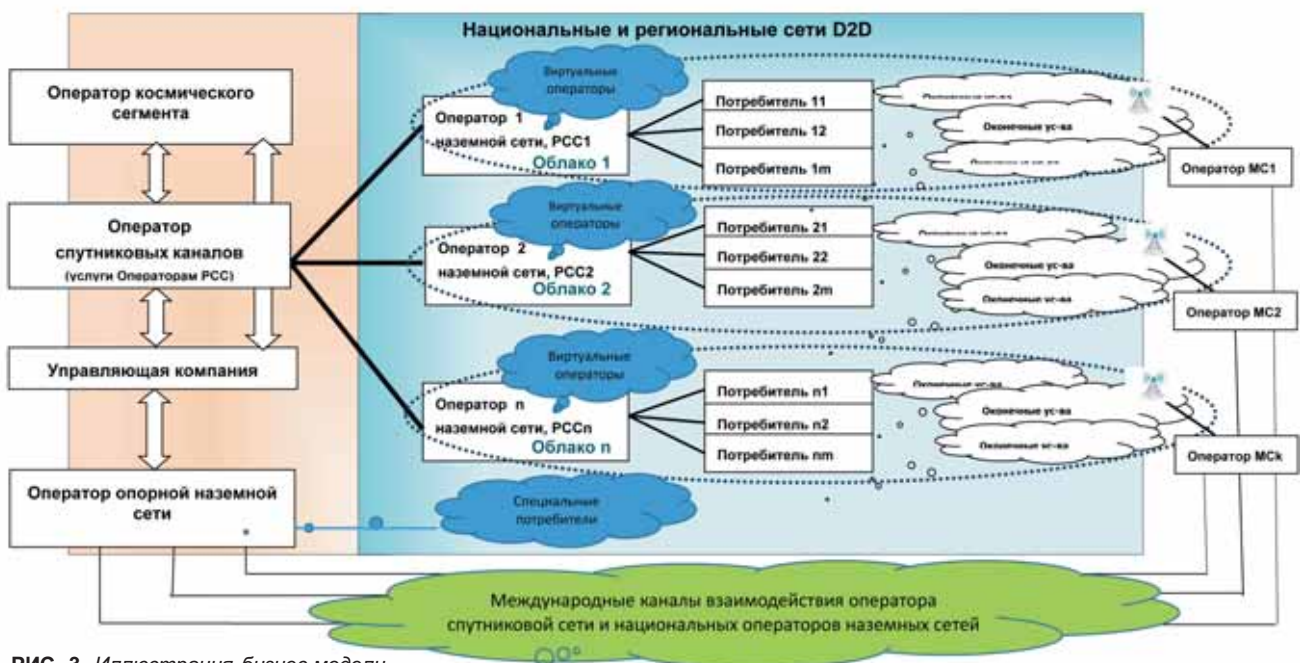


РИС. 3. Иллюстрация бизнес-модели