

**ЗАМЫСЕЛ СОЗДАНИЯ АДАПТИВНОЙ КОРОТКОВОЛНОВОЙ СЕТИ
В ИНТЕРЕСАХ ОКАЗАНИЯ УСЛУГ СВЯЗИ НАСЕЛЕНИЮ
(ЭЛЕКТРОННАЯ ПОЧТА, ГОЛОСОВЫЕ СООБЩЕНИЯ, М2М)
В ТРУДНОДОСТУПНЫХ И МАЛОНАСЕЛЕННЫХ РАЙОНАХ РФ**

Аннотация: В статье описан в первом приближении облик системы перспективной адаптивной коротковолновой связи, перечислены возможные направления ее применения, а также основные отличия от ранее описанных систем, в частности отмечены: необходимость внедрения ионосферного мониторинга в реальном масштабе времени, применения малогабаритных абонентских терминалов, и специального программного обеспечения для интеграции со спутниковыми системами.

Ключевые слова: адаптивная коротковолновая сеть, ионосферный мониторинг, надежность КВ связи, устойчивые к задержкам сети

Одним из возможных вариантов применения адаптивной КВ сети может стать

- интернет вещей. Действительно, КВ сети рассматривались в качестве возможного транспорта для передачи данных различных мониторинговых/сенсорных систем достаточно давно. Прототипом такой сети может быть, например [1]. Такая сеть была описана в 2007 году, рассматривалась в качестве расширения услуг сотовой связи и к настоящему моменту морально устарела, а кроме того имела ограниченный набор услуг.

Потенциал КВ сетей для создания цифровой экосистемы России, достаточно хорошо раскрыт в одноименной статье сотрудников ФГУП СОНИИР. В [2] делается вывод о том, что зачастую нет необходимости увеличивать такой комплексный показатель эффективности как «скорость передачи информации (или пропускная способность) – мобильность – охват территории страны», подчеркивается, что с учетом экономических особенностей КВ систем, последние могут превосходить по эффективности, в том числе и спутниковые системы связи. Логичным продолжением, развитием применения КВ систем в качестве транспорта было и остается применение таких систем и комплексов в интересах управления (в том числе подвижными объектами), на текущем этапе развития одним из вариантов интерпретации этого тезиса может быть

- управление робототехническими комплексами.

Возможности по применению КВ диапазона в интересах управления робототехническими комплексами рассмотрены, например, специалистами ПАО «Интелтех» в статье «Комплексное использование разнородных каналов связи для управления робототехническими комплексами на базе единой системы радиомониторинга». В [3] показана важность использования КВ диапазона и обосновано применение подсистемы радиомониторинга для повышения эффективности управления в КВ диапазоне. В этой связи основной упор сделан на применение и построение когнитивных систем радиосвязи. В целом же вопросы построения КВ сетей для

- управления подвижными объектами

рассматривались неоднократно и для специального применения ВВС, ВМФ, РВСН так и в преломлении к гражданским проектам, например, в публикациях [4. 5], в описании к патенту «Региональная сеть мобильной связи и мобильный терминал» - RU 2351074 С2.



Еще одним направлением использования услуг предлагаемой системы могут стать **решения при ликвидации и предупреждении чрезвычайных ситуаций и экологических катастроф**

Предложения по использованию КВ сетей в интересах МЧС рассматривались многократно. Наиболее интересным, с точки зрения анализа опыта практического использования, следует отметить систему описанную в [6].

Руководящие документы, различного рода концепции и политики по развитию телекоммуникационной инфраструктуры труднодоступных регионов РФ всегда содержат тезисы о применении КВ систем (не всегда в положительном ключе). Тем не менее одним из ярких примеров таких предложений можно назвать статью [7]. По совокупности публикаций можно выделить отдельное направление применения КВ систем сформулированное как

-инфраструктурные решения для арктических и труднодоступных регионов севера РФ и как элемент резервной государственной системы связи.

Представленные в данном здесь ссылки на публикации ни в коей мере не являются исчерпывающими, предложений по использованию КВ диапазона гораздо больше. Они лишь подтверждают возможность применения и развития системы в указанном направлении.

Таким образом, предлагаемая к проектированию сеть будет использована как минимум по 4 основным направлениям: интернет вещей, связь/управление подвижными объектами, применение в чрезвычайных ситуациях, развертывание инфраструктуры.

Кроме того, предлагаемая система может иметь дополнительные функции:

- например, функция локального местоопределения абонентов по сигналам от «базовых» станций;
- создание и распространение банка данных по ионосферным поправкам для территории РФ;
- сервис DTN (Delay-Tolerant Networks, сетей устойчивых к задержкам).

Описание предварительного облика КВ-сети

Перечислим основные запатентованные подходы в создании КВ (КВ-УКВ) сетей (их, безусловно, больше), выбор произведен на основе подбора аналогов:

- **RU 2336635 C1** «Сеть коротковолновой связи для передачи дискретных сообщений»;
- **RU 2351074 C2** «Региональная сеть мобильной связи и мобильный терминал»;
- **RU 2692081 C1** «Система коротковолновой радиосвязи с использованием частотноманипулированных сигналов, передаваемых в режиме псевдослучайной перестройки рабочей частоты»;

-**RU 2221330 C2** «Широкополосная система радиосвязи КВ-диапазона».

-**RU 2622902 C1** «Система коротковолновой связи».

А так же и более 100 научно-технических статей с описанием особенностей построения таких сетей в интересах предоставления существующих и перспективных услуг связи. В основном упор делается на тот или иной базовый принцип передачи информации в КВ каналах или же на концепцию «системы с вынесенным ретранслятором» [8, 9]. Этот тезис основан на результатах практических наблюдений, из которых следует (рис.1), что наиболее надежными в КВ диапазоне являются трассы протяженностью 2-3 тыс. км, а значит, в случае отсутствия связи в «ближней» зоне, подвижный абонент всегда может быть обслужен «базовой» станцией, находящейся на удалении 2000-3000 км (рис.1).



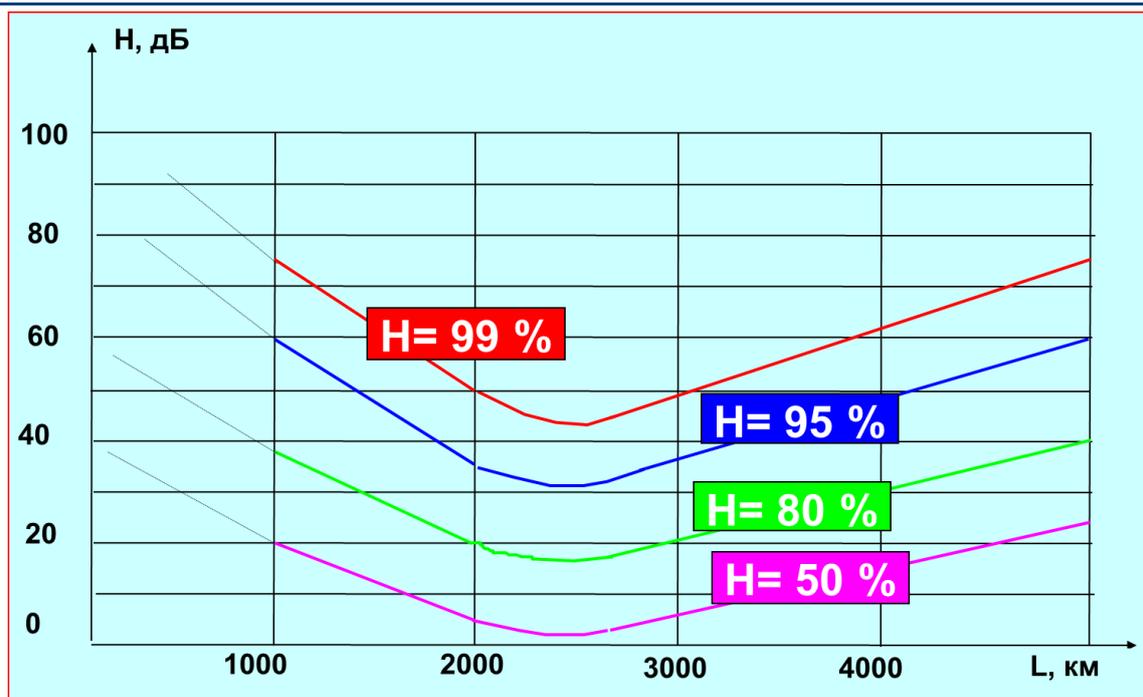


Рисунок 1. Зависимость мощности передатчика, обеспечивающей заданную надежность передачи сообщений, от длины трассы.

В качестве базового описания системы предлагается взять описание системы- **RU 2351074 С2 «Региональная сеть мобильной связи и мобильный терминал»**, однако с рядом отличительных особенностей:

Первым, значительным, отличием новой системы должно стать построение таких ее элементов как «Базовая станция», «абонентский терминал» с применением технологии DTN (Delay-Tolerant Networks) сетей устойчивых к задержкам, и в целом – построением сети на принципах и архитектуре DTN. Дело в том, что пользователями каналов связи в настоящее время являются компьютеры или даже локальные сети, в своей основе опирающиеся на стек протоколов TCP/IP. Одним из ключевых показателей качества работы компьютерной сети является надежность передачи информации по сети, а именно, вероятность доставки сообщения до получателя, время, за которое это сообщение будет доставлено, и равнозначность отправленного и полученного сообщений. Однако существуют ситуации, в которых показатель вероятности того, что сообщение вообще дойдет до принимающего устройства, может стремиться к нулю. Так, например, в случае нарушения или отсутствия соответствующей технической инфраструктуры сигнал просто не дойдет до ближайшего узла коммутации, как это может быть в случае природных, техногенных катастроф или по другим причинам (канал не установлен, срыв синхронизации, нет прохождения сигнала – все это частые явления в КВ каналах). Особенностью предлагаемого протокола является доставка данных вне зависимости от текущего состояния каналов связи. Подробнее об особенностях протокола DTN можно ознакомиться в публикациях иностранных коллег, например, Special issue on DTN // Journal of Communications. – 2010. – V. 5. – № 2. – P. 106–130. Первое представление можно получить из статей [10, 11]. Кроме непосредственно повышения надежности, еще одним преимуществом внедрения DTN технологии можно считать тот факт, что архитектура DTN уже включает в себя ряд услуг (такие как электронная почта, передача данных)



Вторым, важным отличительным моментом новой системы должно стать применение алгоритмов адаптации параметров абонентских каналов на основе данных ионосферного мониторинга. Необходимость радиомониторинга с использованием активных зондирующих сигналов или радиомониторинга описана в приведённых выше патентах и описаниях на изобретение. Однако все эти предложения не учитывают изменения характеристик первоисточника негативных явлений в КВ каналах – ионосферы. Хороший обзор современного состояния и перспектив развития ионосферного мониторинга в интересах новых адаптивных систем КВ радиосвязи представлен в [12].

Другие отличия от базового варианта базируются на описанных выше двух основных особенностях и состоят в:

- исключения элементов сотовой связи из состава базовых станций.
- оснащении базовых станций терминалами системы «Гонец» и интеграция услуг системы спутниковой связи «Гонец» в перспективную КВ-сеть (это необходимо для того, чтобы вновь создаваемая КВ-сеть фактически одновременно приросла в количестве пользователей на величину равную числу пользователей в системе «Гонец». В свою очередь, в системе «Гонец» резко снижается время ожидания услуги, обрабатывается гетерогенная структура сети DTN).
- особенностях построения базовой станции и абонентского терминала. Облик терминала подлежит разработке в аван-проекте, несколько подробнее походы к его возможному созданию изложены в разделе 3. «Формулирование предполагаемого к использованию научно-технического задела».
- наибольшее отличие предполагается получить в механизмах адаптивного изменения параметров абонентской радиолинии. В отличие от всех предложенных способов, где выбор оптимальных рабочих частот осуществляется либо по оценке прохождения тестовых последовательностей, либо с использованием специальной подсистемы зондирования трасс, либо просто путем подбора параметров сигналов на закрепленных за системой частот, в новой системе предполагается оценка достижимого качества на основе результатов мониторинга ионосферы вдоль трассы распространения сигнала с применением двух частотных приемников GPS, ГЛОНАСС и структурно-физических моделей КВ каналов учитывающих диффузную многолучевость. Общие подходы к применению такого метода изложены в [13]. Актуальность указанного направления исследований подтверждается систематическим выделением грантов на построение и уточнение моделей каналов трансionoсферного распространения по линии РФФИ. Данные ионосферного мониторинга могут стать дополнительным источником коммерциализации системы, он востребованы, например, для расчета ионосферных поправок систем GPS\ГЛОНАСС, а так же для ряда специализированных систем.
- еще одной важной особенностью новой системы должно стать использование и отработка технологии DTN и оснащение базовых станций шлюзами-DTN. Это новый подход к сетевой архитектуре компьютера, который направлен на решение технических вопросов в гетерогенных сетях, которые не имеют постоянного подключения к сети. Примерами таких сетей являются те, которые работают в мобильных или экстремальных земных условиях или планируемых сетей в космическом пространстве. В последнее время DTN наиболее распространен в Соединенных Штатах из-за поддержки со стороны Управления перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США, которое финансирует многие проекты DTN. Разрыв сети может произойти из-за пределов дальности беспроводной радиосвязи, разреженности мобильных узлов, нехватки энергетических ресурсов и помех.



Предполагаемый к использованию научно-технический задел.

Основной задел предполагается использовать, опираясь на открытые публикации и данные предприятий промышленности, продемонстрированные в ходе научно-практических конференций и выставок.

Как было описано выше среди действующих систем КВ связи в настоящий момент нет полностью подходящих прототипов. Однако по области и длительности применения, тем не менее, можно выделить несколько. Это, прежде всего, сеть научно-исследовательского института Арктики и Антарктики Росгидромета (ААНИИ) предназначенная для обмена информацией между полярными автономными метеостанциями и базовыми материковыми станциями.



Рис.2 Примерная схема организации распределенной сети КВ радиосвязи ААНИИ Росгидромета (ВСС – ведомственная сеть связи; УГМС – управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды)

В открытой печати не удалось найти численные оценки результатов надежности опытной эксплуатации этой сети. Из анализа рис.2 можно сделать вывод о том, что надежность в данном случае обеспечивается за счет многократного и разнесенного приема сообщения базовыми станциями от абонентского терминала. Это в значительной степени отличается от подходов, предлагаемых в новой системе.

Другим примером можно считать КВ сеть базовых станций Winlink ассоциации SailMail. Это некоммерческая организация владельцев яхт, которая работает и поддерживает частную сеть береговых станций Морской Подвижной Радиослужбы (Maritime Mobile Radio Service). Система SailMail позволяет обмениваться электронными сообщениями, Интернет-почтой для своих членов на кооперативной основе с тем, чтобы удовлетворить оперативные и частные потребности владельцев яхт – членов ассоциации. Ассоциация SailMail предоставляет свои услуги по всему миру посредством базовых станций, расположенных в Северной Америке, на Гавайских островах, в Австралии, Юго-Восточной Азии, Южной Африке и в Европе. На рисунке 6 представлена существующая сеть базовых станций Winlink.





Рис. 3. Существующая сеть «базовых» станций Winlink.

Вышеназванные сети объединяет применение в своей основе протокола типа РАСТОР. В частности протокол РАСТОР4 был разработан и начал продвигаться на рынке, начиная с 2010–2011 гг. Отличительными особенностями данного протокола цифровой радиосвязи (в том числе по сравнению с другими протоколами цифровой связи) являются высокая адаптивность и помехоустойчивость, а также относительно высокая (для КВ диапазона) скорость передачи данных. Весьма успешной технической реализацией можно считать модем фирмы SCS (Германия) – SCS P4 Dragon DR-7800. Модем позволяет передавать по КВ каналу файлы до 500 Кб, при максимальной скорости до 9,2 кБит/с, используя современный цифровой протокол РАСТОР4. Сеть Winlink функционирует с закреплением времени на передачу данных для каждого зарегистрированного в зоне действия базовой станции корреспондента. В местах интенсивного судоходства нередко наблюдается занятость каналов доступа, в сети не предусматривается адаптация на основе радиомониторинга.

При создании облика перспективного *абонентского терминала* предполагается использование задела на основе вычислительного модуля «Скиф» 1892ВА018 производства «Элвис» (рис.4-5) или ряда более ранних специализированных контроллеров отечественного производства (среди которых можно отметить, например, сигнальный процессор 1967ВН034 производства АО «ПКК Миландр» и др.). *Основная задача и ожидаемый технический результат* по формированию облика абонентского терминала: снижение массо-габаритных характеристик терминала до показателей переносного терминала и снижение излучаемой мощности (до 10 - 40 Вт).



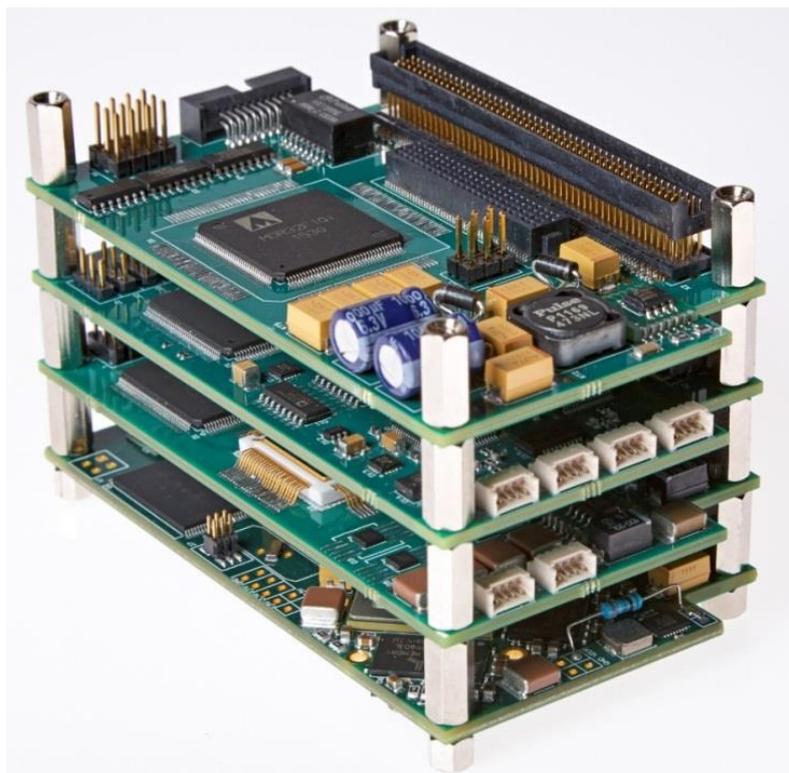


Рис.4 Пример создания дуплексного 2-х канального синхронного SDR модема на базе более раннего процессорного модуля 1892VM14Я («Элвис»), разработанного в АО «РИМР» в рамках инициативной работы «МК Конструктор»



Рис.5 Пример создания абонентского устройства типа планшет на базе более раннего процессорного модуля 1892VM14Я («Элвис»), разработанного в АО «РИМР» в рамках инициативной работы «МК Конструктор»





Рис.6 Пример внешнего вида абонентской мобильной станции.
В сетях ААНИИ была создана на базе автомобиля «Шевроле Каптива».

При проектировании базовых станций предполагается использование задела по построению совмещенных приемо-передающих центров и их компактного размещения, например, в контейнерном исполнении. В первом приближении можно ориентироваться на подходы изложенные в статье «Перебазируемые узлы связи для Арктики» специалистов АО «Воентелеком». На рисунках 7-8 представлен вариант внешнего вида и внутренней компоновки базовой станции на основе доработанного морского контейнера.

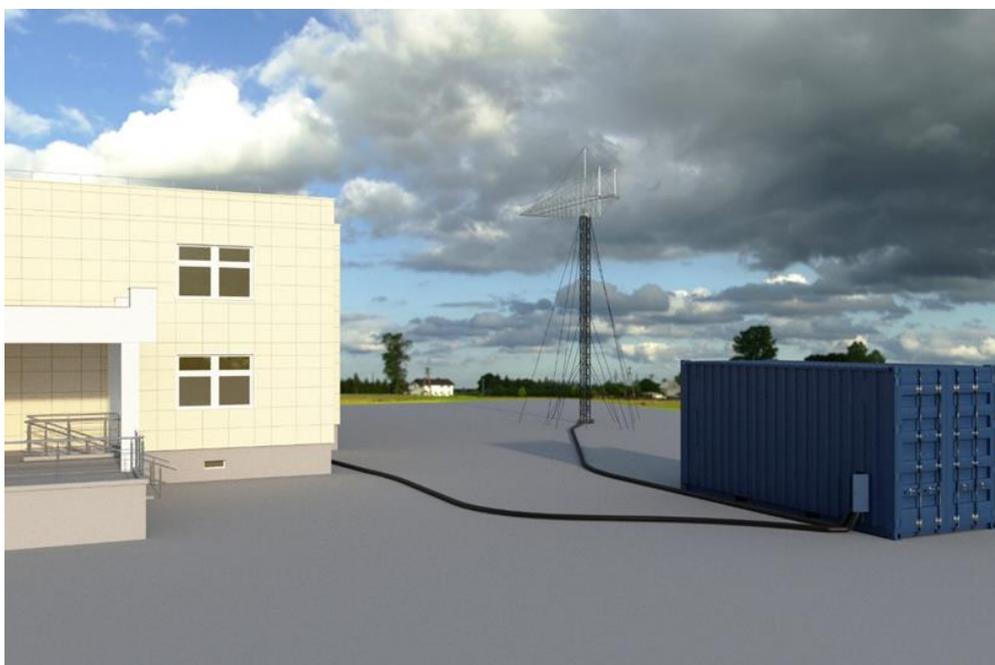


Рисунок 7. Внешний вид макета базовой КВ станции
с логопериодической поворотной антенной, разработки и производства АО «РИМР»,
размещенный в доработанном морском контейнере.



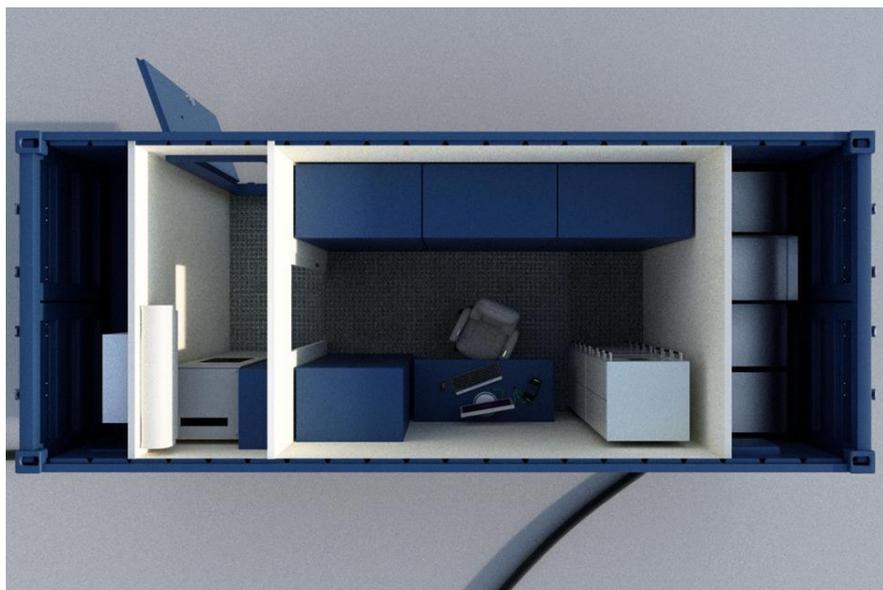


Рисунок 8. Вариант внутренней планировки обслуживаемой базовой КВ станции, размещенной в доработанном морском контейнере с системами жизнеобеспечения.

Указанные варианты безусловно должны быть переработаны для учета требований привязки, автономности и вписывания в архитектуру DTN.

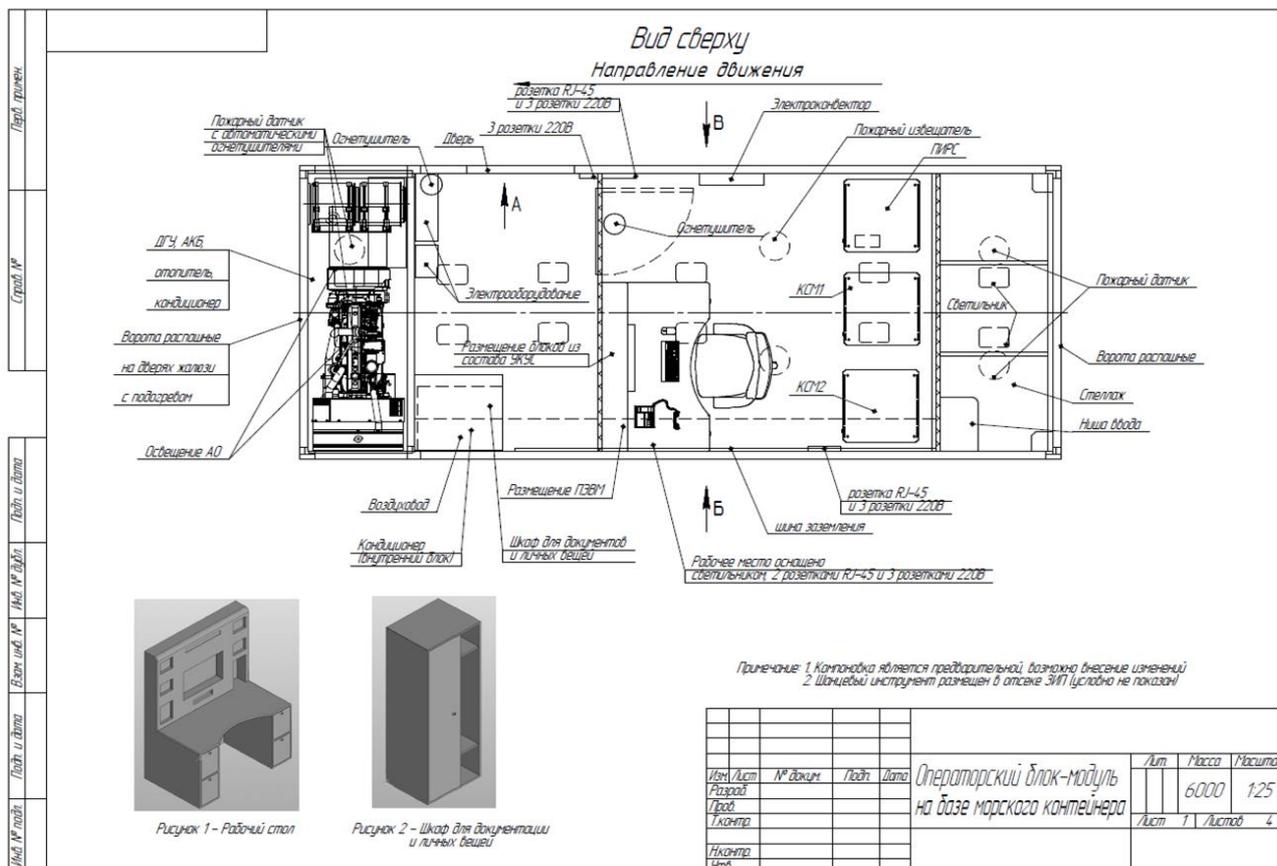


Рисунок 9. Пример размещения оборудования внутри блок модуля



В сжатые сроки сервисы должны стать доступны уже существующим абонентам, что моментально повысит число потенциальных абонентов в сети. Опыт ассоциации Sailmail вселяет надежду на коммерциализацию проекта, и показывает, что все приморские территории РФ включая акваторию «Северного морского» (рисунок10) пути являются перспективными.

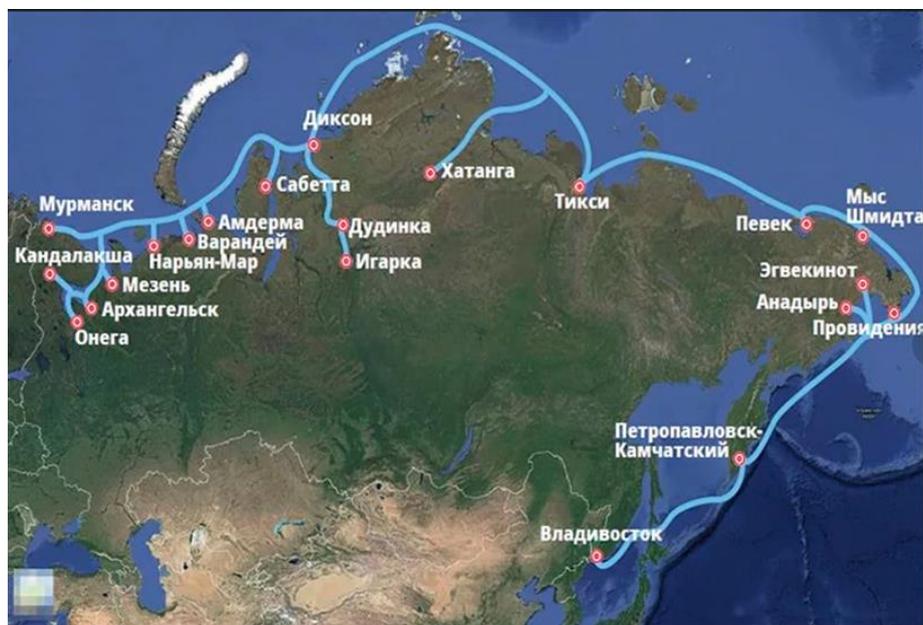


Рисунок 10. Схематичное представление акватории «Северного» морского пути, точками показаны потенциальные места размещения «базовых» станций, выбор конкретных мест выбирается исходя из дополнительной информации на первом этапе работ по результатам рекогносцировки и выбранной стратегии (варианты:

- 1- Оснащение наименее подготовленных мест
- 2- Оснащение объектов с доступной инфраструктурой с целью реализации возможностей по многократной отладке и доработке макетов
- 3- Комбинированная стратегия (например, объединение с местами размещения центров спасения МЧС))

Перечень первоочередных вопросов подлежащих детальной проработке и выносимых на рассмотрение/демонстрацию в рамках аван-проекта.

Для первоначальной проработки предлагается вынести три группы вопросов.

1 группа вопросов: системная

- оценка потребного количества базовых станций и предложения по местам их размещения и количества абонентов, обслуживаемых одной базовой станцией;
- конкретные технические решения по вписыванию КВ системы в архитектуру DTN (архитектура DTN на КВ сети с интеграцией в систему «Гонец»);
- системное описание КВ сети с обоснованием подходов к радиочастотному обеспечению;
- предложения по облику системы ионосферного мониторинга;
- обоснование и выбор протокольной части (на основе измененного РАСТОР или вновь разработанный протокол);
- предложения и их проработка по дополнительным функциям сети (местоопределение, ионосферные поправки...);
- оценка возможности коммерциализации проекта (представляется отдельно);



По частотам (на основании действующих патентов и статей можно сделать вывод, что необходимо на каждую «базовую» станцию иметь частоты в трех группах:

- 1 группа вблизи 3-7 МГц – ночные и для связи в ближней зоне до 500 км;
- 2 группа вблизи 7-12 МГц- частично ночные и для связи на дальностях до 1500 км;
- 3 группа вблизи 12-22 МГц – дневные и для связи на трассах 2- 3 тыс. км.

По количеству базовых станций и их размещению (по открытым источникам: до 80 шт. для покрытия всей территории земного шара, от 20 до 48 шт. для покрытия территории РФ).

2 группа вопросов: макетирование базовой станции и абонентского терминала и разработка программного обеспечения для макетов

- макет «базовой» станции (предусмотреть возможность ее размещения/использования на морском/воздушном судне);

- макеты абонентских терминалов (несколько (не более 3-х) вариантов исполнения для различных подвижных объектов);

- реинжиниринг протокола RACTOR (I, II, III, IV) или аналог, протокол защищен законами об авторском праве, является проприетарным, но возможна его доработка на основе открытых стандартов и отечественных разработок до уровня нового продукта, отличающегося необходимым уровнем новизны для патентования новизны и регистрации результатов интеллектуальной деятельности.

- разработка ПО верхнего уровня типа Airmail для работы почтового сервиса на DTN KB.

3 группа вопросов: трассовые испытания, опытная эксплуатация и определение требований к отечественной ЭКБ:

Определить номенклатуру отечественной элементной базы подлежащей разработке для реализации серийного производства «базовых» станций и абонентских терминалов. Определить их иностранные прототипы.

Провести трассовые испытания макетов с «базовой» станцией при установке абонентского терминала на а/м типа «газель»/ «кроссовер» в регионах наилучшим образом подготовленных для проведения таких работ, например, Ленинградская область (наличие профильных организаций в области KB, работа на слабозаселенные районы (Мурманская область, Архангельск), работа на трассах с подвижными объектами морского базирования) либо Омская область (аналогичные причины, дополнительно работа на участках Северного морского пути).

Заключение: в статье описан облик адаптивной коротковолновой сети связи, показан достигнутый научно-технический задел в данной области, предложены основные отличительные особенности, потенциально обеспечивающие ее массовое применение и коммерциализацию. К основным особенностям отнесены:

- наличие системы мониторинга и прогнозирования качества KB связи в реальном масштабе времени;

- интеграция со спутниковыми системами типа «Гонец» (возможно, в перспективе «Марафон-IoT»);

- развертывание элементов DTN архитектуры в составе «базовых» станций адаптивной KB сети связи.

Список литературы:

1. «Сеть коротковолновой связи для передачи дискретных сообщений» патент на изобретение RU 2336635 С1. В.Л. Хазан, Д.В. Федосов, 2007 г.

2. «Потенциал KB-радиосвязи – для создания цифровой экосистемы России», М.М. Ступницкий, Д.В. Лучин, ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ, 5, Москва, 2018 г.



3. «Комплексное использование разнородных каналов связи для управления робототехническими комплексами на базе единой системы радиомониторинга» П.А. Будко, А.М. Винограденко, Г.А. Жуков, А.И. Литвинов, Радиотехника и связь, 1, СПб, 2017 г.
4. «Транкинговые системы связи СВ-КВ диапазонов радиоволн с мобильной базовой станцией» В.Л. Хазан, А.Н. Юрьев, Д.В. Федосов, Вестник СибАДИ, 3 (17), Москва, 2010 г.
5. «Региональная сеть мобильной связи и мобильный терминал» патент на изобретение RU 2351074 С2, . В.Л. Хазан, Д.В. Федосов, 2007 г.
6. «Некоторые аспекты организации цифровой коротковолновой радиосвязи в Арктике», В.В. Папырин, В.К. Сидоров, Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России, СПб, 2019 г.
7. «Масштабируемая телематическая система для арктических регионов РФ с использованием КВ-радиосвязи», Д.В. Лучин, С. Л. Гавлиевский, Е.Н. Маслов, Электросвязь, 9, Москва, 2019 г.
8. «Система коротковолновой радиосвязи с разнесённым приёмом на вынесенном ретрансляторе и оптимизацией рабочих частот по данным наклонного зондирования ионосферы», К.И. Труднев, автореферат диссертации, Иркутск, 2011 г.
9. «Новые возможности повышения эффективности систем кв- радиосвязи с вынесенным ретранслятором», А.И.Агарышев, В.А.Агарышев, Вестник ИрГТУ, Иркутск, №6 (65) 2012 г.
10. «Задачи обеспечения качества передачи информации в DTN сетях», Б.А. Крылов, А.Е. Курников, вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики, , № 3 (73), СПб, 2011 г.
11. «Основные принципы создания космической информационной сети, устойчивой к разрывам и задержкам в каналах связи», И.Д. Антонов, А.В. Глазков, Д.А. Зеленев, Н.Л. Соколов, А.Н. Титов, Лесной вестник 6, Королев, 2015 г.
12. «Ионосферный мониторинг в интересах перспективных адаптивных систем декаметровая радиосвязи: современное состояние и перспективы развития», С. А. Коваль, Системы управления, связи и безопасности, 4, 2020 г.
13. «Зависимость надежности связи в декаметровой радиолнии от выбора рабочей частоты с учетом сигнально-помеховой обстановки и диффузности ионосферы», В.П. Пашинцев, А.Д. Скорик, С.А. Коваль, Д.П. Киселев, М.А. Сенокосов, Системы управления, связи и безопасности, 4, 2019 г.

