

Анализ результатов, полученных за три года работы аппаратуры мониторинга судов БРК АИС, размещенной на КА «Ресурс-П» № 2

А. М. Кузнецов, к. т. н., *kuznezov_am@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

С. В. Трусов, к. т. н., *trusov_sv@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

О. И. Барабошкин, *baraboshkin_oi@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

С. А. Бобровский, *bobrovsky_sa@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

А. А. Романов, д. т. н., профессор, *romanov@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

А. А. Романов, д. т. н., *contact@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

Аннотация. В последние годы в мире активно развиваются космические системы мониторинга судов на основе приема сигналов от судовой аппаратуры АИС. В работе проведен анализ результатов эксплуатации первого российского приемника космического базирования для мониторинга судов на базе сигналов АИС за период 2015–2017 гг. В сеансном режиме приемник работает до 5 раз в сутки по 30–60 с. Демодуляция и декодирование записанного сигнала производится на Земле.

Основными районами включения являются моря Черное, Норвежское, Баренцево, Карское, Берингово, Охотское. За рассматриваемый период было получено более 480 тыс. сообщений от примерно 23 тыс. уникальных судов. Подтверждена возможность получения сообщений типа 27, специально предназначенных для спутникового АИС. Зарегистрированы сообщения от малоомощных передатчиков аппаратуры АИС класса В.

На основе полученного массива регулярных наблюдений была рассчитана вероятность повторного обнаружения одного и того же судна. Для используемого режима работы аппаратуры вероятность наблюдения судна на следующие сутки составила 0,33–0,45, в течение двух суток — 0,44–0,61, в течение недели — 0,72–0,81. Спутниковый приемник следующего поколения будет принимать и декодировать на борту сообщения АИС, а также ASM.

Ключевые слова: мониторинг судов, БРК АИС, спутниковая АИС

Analysis of the Results Obtained over Three Years of Operation of AIS Vessel Monitoring Equipment Based on the Resurs-P No. 2 Spacecraft

A. M. Kuznetsov, *Cand. Sci. (Engineering)*, kuznezov_am@spacecorp.ru
Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

S. V. Trusov, *Cand. Sci. (Engineering)*, trusov_sv@spacecorp.ru
Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

O. I. Baraboshkin, baraboshkin_oi@spacecorp.ru
Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

S. A. Bobrovskij, bobrovsky_sa@spacecorp.ru
Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

A. A. Romanov, *Dr. Sci. (Engineering), Prof.*, romanov@spacecorp.ru
Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

A. A. Romanov, *Dr. Sci. (Engineering)*, contact@spacecorp.ru
Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

Abstract. In recent years, space systems for ship monitoring based on receiving AIS signals from the vessel equipment are actively developed worldwide. In this work, the analysis of the results of operation of the first Russian space-based AIS signal receiver during the period of 2015–2017 is carried out. The receiver operates in session mode, up to 5 times a day for 30–60 seconds. The demodulation and decoding of the recorded AIS signals is performed at the ground facilities.

The main areas of operation are the Black, Norwegian, Barents, Kara, Bering and Okhotsk seas. During the given period, more than 480 thousand messages from around 23 thousand unique ships were received. The possibility of receiving messages of type 27, specifically designed for satellite AIS, is confirmed. Messages from class B low-power AIS transmitters were also registered.

Based on the obtained array of regular observations, the probability of repeated detection of the same vessel is calculated. For the mentioned above receiver operation mode, the probability of observing the same vessel for the next day is 0,33–0,45, for two days it is 0,44–0,61, and the probability is 0,72–0,81 for observation during one week. The next generation satellite receiver will receive and decode AIS and ASM messages on-board.

Keywords: vessel monitoring, AIS, satellite AIS

Введение

Судовая автоматическая идентификационная система (АИС) предназначена для обмена навигационной и рейсовой информацией между судами и береговыми станциями и создавалась с целью обеспечения безопасности судоходства. Судовые данные передаются в радиоэфир широкополосным способом, по открытому протоколу в незашифрованном виде. Доступ к каналу обеспечивается с разделением по времени. Приемопередатчиками АИС оборудованы практически все пассажирские и грузовые суда, танкеры, а также суда на международных рейсах вместимостью от 300 т. На данный момент аппаратура АИС работает на более чем 250 тыс. судов по всему миру [1, 2]. Согласно конвенции SOLAS ООН транспондер АИС обязателен к размещению на большинстве судов, выходящих в открытое море.

Из-за открытого протокола доступа к данным АИС оказалось возможным принимать судовой сигнал АИС на борту космического аппарата. При приеме сигнала АИС на борту КА основной задачей становится мониторинг местоположений судов в открытом море.

Спутниковый АИС активно развивается во всем мире в последние годы. Первые работающие спутниковые приемники АИС были запущены в 2007 г., к настоящему времени во всем мире в рамках различных миссий на орбиту выведено более 70 приемников АИС [3, 4]. В декабре 2014 г. на борту КА ДЗЗ «Ресурс-П» № 2 был выведен на орбиту первый российский космический приемник АИС — БРК АИС.

БРК АИС был создан в рамках реализации проекта № 24 «Создание системы мониторинга подвижных объектов», одобренного Комиссией при Президенте Российской Федерации по модернизации и технологическому развитию экономики России. Реализация проекта направлена на создание базовых элементов системы космического мониторинга морских и речных судов на основе регистрации сигналов автоматической идентификационной системы (АИС). Работа БРК АИС осуществлялась в интересах Министерства транспорта РФ, в процессе эксплуатации данные спутникового АИС поступали в ФГУП «Морсвязьспутник»

и интегрировались в КИИС «МоРе». На данный момент в КИИС «МоРе» более 1500 учетных записей, основные потребители: Минтранс России и другие министерства, администрации морских портов и речных бассейнов (государственный портовый контроль), таможенные органы, пограничные управления ФСБ России, Росприроднадзор, судоходные компании.

Основные данные, полученные в результате работы БРК АИС за прошедшие три года, и планы по развитию спутниковой системы АИС в России представлены ниже.

Основные характеристики БРК АИС

БРК АИС — это экспериментальный приемник, предназначенный для работы в сеансном режиме. Ежедневно планировалось до пяти включений аппаратуры над заранее выбранными областями в Мировом океане. Внешний вид БРК АИС представлен на рис. 1 (слева).

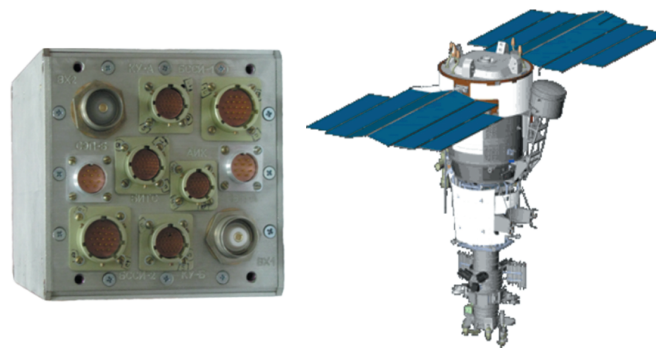


Рис. 1. Внешний вид БРК АИС (слева). Внешний вид КА «Ресурс-П» № 2 (справа)

При пролете над заданными в полетном задании акваториями БРК АИС включался системой трансляции команд и распределения питания КА в режим сбора и выдачи информации. Производилась запись сигнала длительностью 1 мин во внутренний буфер памяти БРК АИС. После завершения записи сигнала БРК АИС выдавал информацию в бортовую аппаратуру системы сбора служебной информации КА для последующей передачи на Землю через высокоскоростную радиолинию КА. Во время сеанса связи КА с Землей данные АИС

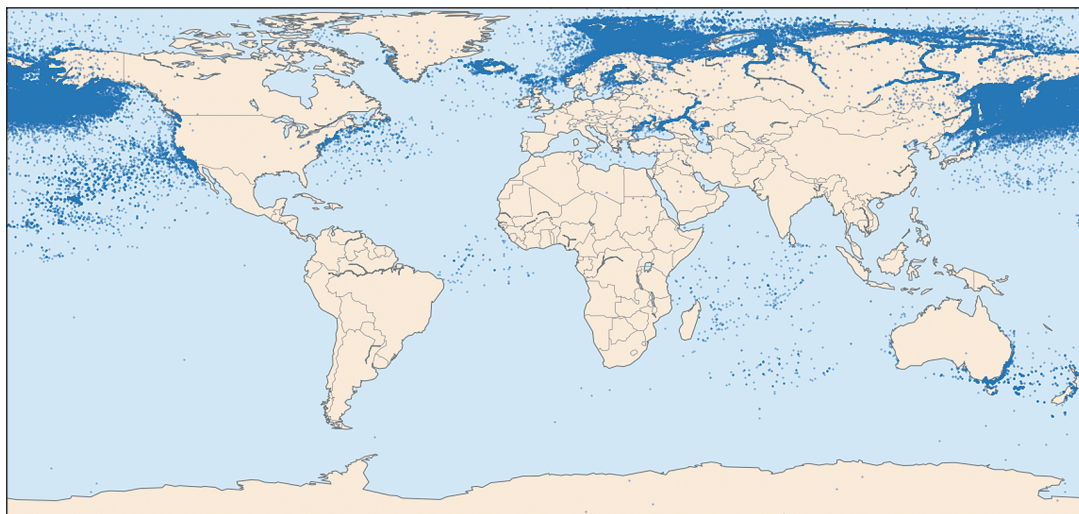


Рис. 2. Отображение координат судов, принятых за три года работы БРК АИС

поступали на наземный комплекс приема и распространения информации, где выделялись в отдельный файл и поступали на станцию приема и обработки информации АИС. Далее из оцифрованного сигнала выделялись сообщения, которые декодировались, проверялась их внутренняя целостность и происходила привязка ко времени, затем данные передавались во ФГУП «Морсвязьспутник» и интегрировались в КИИС «МоРе». Основные характеристики БРК АИС приведены в табл. 1 [3].

Таблица 1. Основные характеристики БРК АИС

Масса, кг	1,67
Габариты, мм	105 × 105 × 211
Энергопотребление, Вт	5,0
Номинальные несущие частоты, МГц	156,775; 156,825; 161,975; 162,025
Чувствительность, дБмВт	–117
Режим функционирования	Сеансы записи сигнала по 1 мин
Диаметр зоны радиовидимости АФУ, км	5000

Малая длительность сигнала, записываемого БРК АИС, объясняется ограниченным объемом внутренней памяти БРК АИС. Параметры орбиты КА «Ресурс-П» №2: наклонение орбиты 97,276°,

высота орбиты 475 км. Внешний вид КА представлен на рис. 1 (справа).

Результаты БРК АИС работы за три года работы

После запуска КА в течение месяца приемник работал по программе летных испытаний. В рамках данной программы осуществлялись включения над определенными регионами с постепенным увеличением мощности сигнала, производилась настройка параметров приемника БРК АИС: отстройка аттенюатора, цифрового усиления, выбор оптимальных каналов. Производились работы по доработке алгоритмов обработки сигнала АИС и обновлению ПО автоматической обработки информации на Земле. После завершения летных испытаний началась работа по целевому применению.

Всего аппаратура работала 980 дней, в штатном режиме каждый день планировались 4–5 включений с длительностью записи сигнала от 30 с до 1 мин (всего произведено 3985 включений). За все время принято 480 526 сообщений АИС от 23 394 уникальных судов. На рис. 2 отмечены положения судов, извлеченные из принятых сообщений АИС за три года работы.

В табл. 2 представлена статистика принятых за три года сообщений АИС с разделением по типам сообщений.

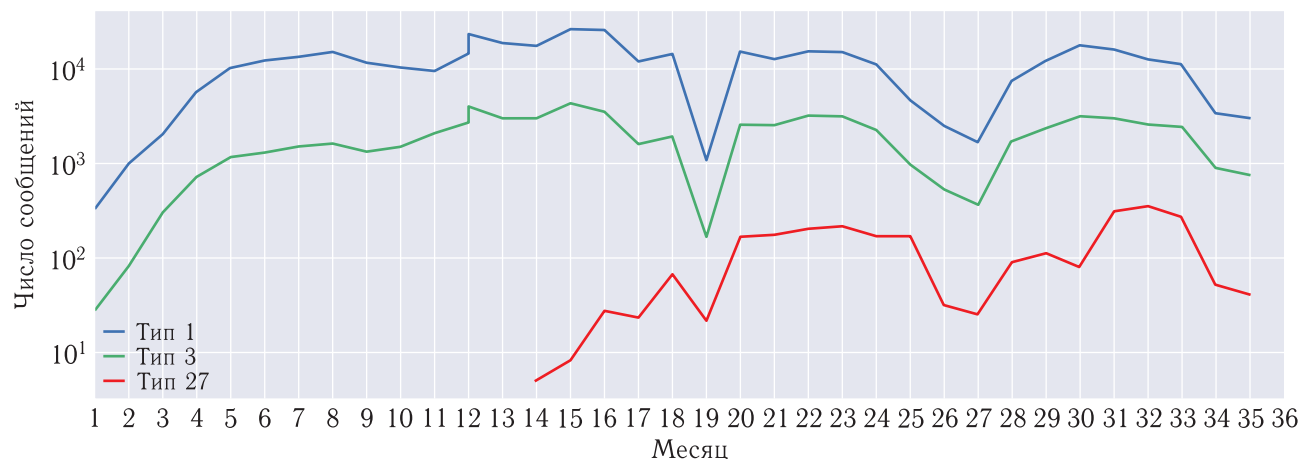


Рис. 3. Число принятых сообщений АИС 1-го, 3-го и 27-го типов в зависимости от месяца за три года работы (логарифмическая шкала)

Таблица 2. Статистика сообщений АИС, принятых в 2015–2017 гг.

Тип	Содержание сообщения	Количество
1	Регулярное сообщение о местоположении МС класса А	402 264
2	Назначенное сообщение о местоположении МС класса А	443
3	Специальное сообщение о местоположении МС класса А	67 477
5	Статическая и рейсовая информация	7518
18	Регулярное сообщение о местоположении МС класса В	585
27	Регулярное сообщение о местоположении МС класса В	2585
Всего сообщений		480 526
Всего судов (уникальных идентификаторов MMSI)		23 394

Можно отдельно отметить успешно реализованную возможность БРК АИС принимать сообщение 27-го типа, которое специально предназначено для передачи на спутниковые приемники АИС с судовых станций. Для проверки возможности записи сигнала в этом режиме были проведены успешные включения аппаратуры над Северным морем.

Помимо сообщений типов 1–5 также было принято 585 сообщений типа 18 (сообщение о место-

положении судовой станции АИС класса В мощностью 1 Вт), что подтвердило высокую чувствительность аппаратуры БРК АИС.

Результаты анализа и оценки качества обработки данных

За одни сутки максимальное число принятых сообщений составило 2288, в среднем 483. Разница в таком количестве принятых сообщений объясняется динамически изменяющейся помеховой обстановкой, причины появления помех следующие: помехи от аппаратуры космического аппарата, от промышленного шума на Земле, коллизии сообщений АИС.

Коллизии сообщений АИС — это событие, которое заключается в том, что несколько сообщений из разных акваторий приходят на приемную антенну в один временной промежуток. Коллизии начинают сильно влиять на количество принятых сообщений уже при наличии 1500 судов в зоне видимости КА, а при 2000 — принимать данные становится практически невозможно, необходимо принимать специальные меры снижения помеховой нагрузки на канал [5–7].

Число принятых сообщений АИС 1-го, 3-го и 27-го типов в зависимости от месяца приведено на рис. 3 в логарифмической шкале.

Из графика видно, что количество принятых на БРК АИС сообщений может отличаться на порядок и уменьшение/увеличение числа принятых

сообщений разных типов коррелирует друг с другом. Чувствительность аппаратуры достаточно высокая, а сигнал АИС — слабый, поэтому внешние факторы сильно сказываются на конечном результате.

Результаты приема сигналов АИС над акваториями Российской Федерации продемонстрировали различную эффективность работы аппаратуры в целевых акваториях. Наиболее эффективно БРК АИС работает над Беринговым и Охотским морями. Средней эффективностью характеризуются северные моря. При включениях над Черным и Каспийским морями из-за сложной помеховой обстановки удается декодировать крайне низкое количество сообщений. Примерное процентное соотношение принятых сообщений АИС при работе БРК АИС над территорией России приведено на рис. 4.

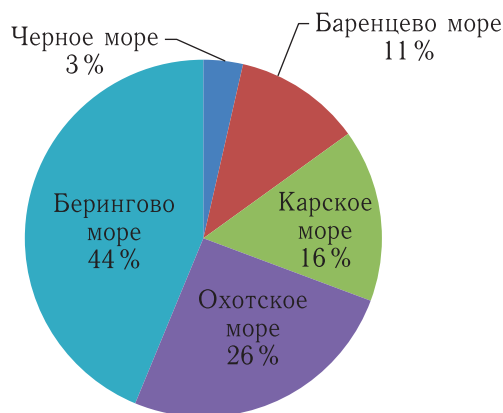


Рис. 4. Процентное соотношение принятых сообщений АИС

Для визуализации судового трафика в Северных и Восточных морях Российской Федерации на основе данных спутникового АИС была построена карта плотности распределения судов; она представлена на рис. 5.

По карте видно, что большая часть судов находится вблизи Мурманска и вдоль побережья Камчатки и Чукотки, границы определяются исключительной экономической зоной России, районами рыбного промысла и кратчайшими маршрутами следования судов.

Регулярный мониторинг судов позволил построить треки их движения за несколько месяцев — одним из интересных примеров является прокладка волоконно-оптического кабеля по дну моря для обеспечения Магаданской области и Камчатского

края телекоммуникационными услугами; маршрут судна показан на рис. 6.

Для оценки эффективности работы БРК АИС была рассчитана вероятность обнаружения одного и того же судна в течение одних, двух и семи суток для всего периода работы и для трехмесячного периода в начале 2016 г., когда производительность БРК АИС была максимальной; полученные данные приведены в табл. 3.

Таблица 3. Вероятность повторного обнаружения судна по данным спутникового АИС

	Вероятность повторного обнаружения судна	
	Для всего периода наблюдений	Для периода 03.2016–05.2016
На следующие сутки	0,33	0,45
В течение двух суток	0,44	0,61
В течение семи суток	0,72	0,81

Таким образом, вероятность повторного обнаружения судна оказывается достаточно высокой даже с учетом малого времени записи сигнала, изменения зоны обзора из-за смещения витков орбиты КА и движения судна в наблюдаемой области.

Проведенная работа показала, что преимущество использования спутникового АИС состоит в возможности мониторинга судов вне зоны действия береговых станций АИС. На территории России это прежде всего область Северного морского пути. Помимо этого с помощью спутникового АИС можно получать информацию о судах других стран, перевозящих грузы или ведущих промысел вблизи границ РФ. Возможен мониторинг нарушения судами границ заповедников и отслеживание маршрутов перевозки грузов по морю.

Проблемные вопросы эксплуатации и перспективы развития

В процессе эксплуатации БРК АИС были определены основные проблемы, которые требуют решения при разработке следующих версий аппаратуры:

- повышение оперативности доставки данных,
- обеспечение непрерывности съемки,

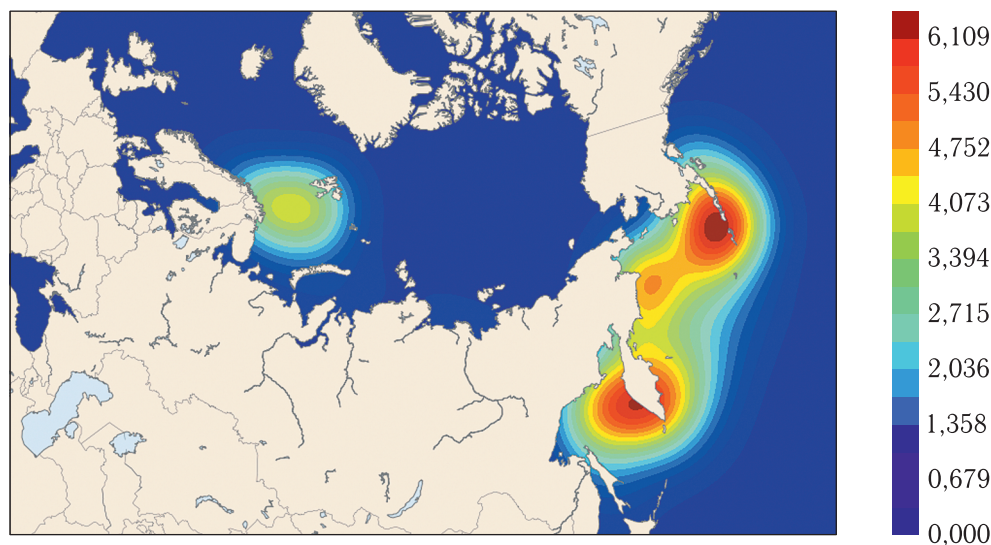


Рис. 5. Карта плотности распределения судового трафика в северных и восточных морях на основе данных АИС

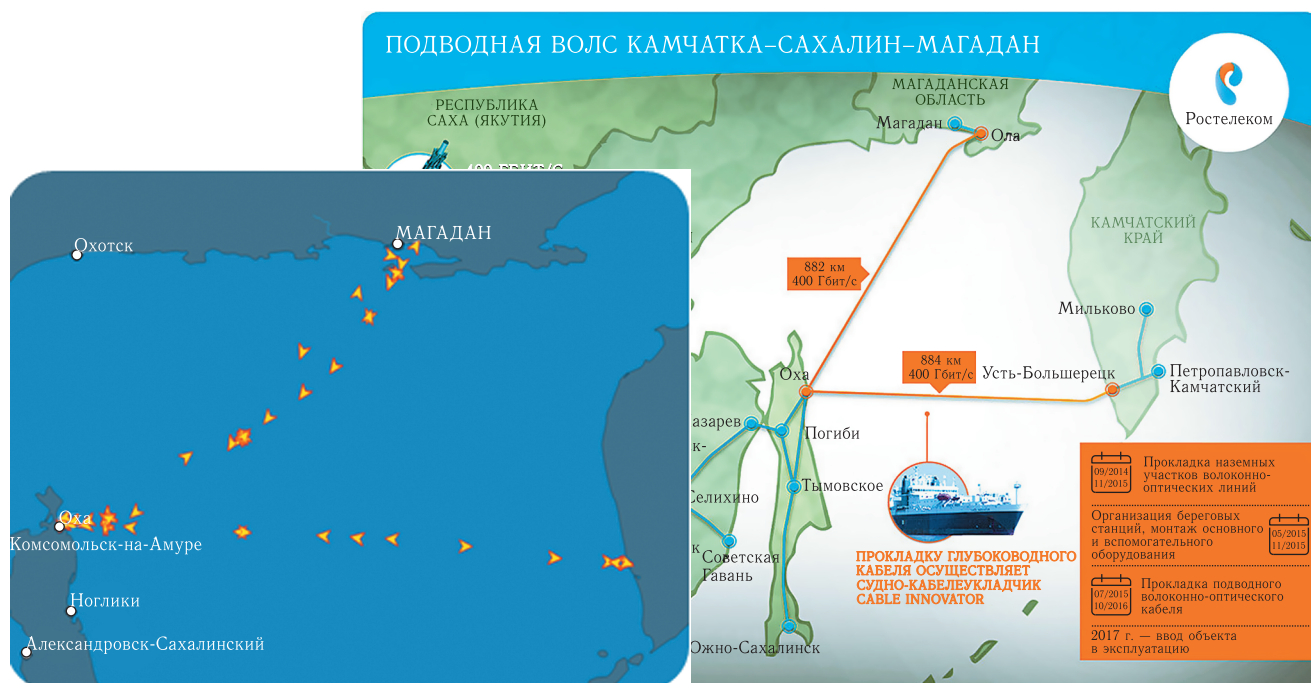


Рис. 6. Трек кабелеукладчика Cable Innovator на трассах Оха–Ола и Оха–Усть-Болшерец

- повышение частоты мониторинга района и
- увеличение количества принимаемых сообщений.

Исходя из текущих требований потребителей оперативность доставки данных должна быть не более 2 ч, но уже сегодня зарубежные поставщики данных спутникового АИС обеспечивают режим реального времени. Для выполнения этого

требования необходимо обеспечить оперативный сброс информации на Землю либо через спутники-ретрансляторы, либо через сеть наземных станций.

Декодирование сигнала на борту в режиме реального времени позволит сократить объем передаваемых данных и перейти от сеансного режима съемки к непрерывному сканированию акваторий. Увеличение частоты мониторинга одного и то-

го же района может быть обеспечено прежде всего увеличением количества приемников на орбите. Для увеличения количества принимаемых сообщений необходимо использовать эффективную антенную систему, уменьшающую вероятность коллизий сообщений в загруженных районах, а также бортовые алгоритмы разделения коллизий сообщений при обработке сигнала.

С учетом опыта эксплуатации БРК АИС в АО «Российские космические системы» в рамках ОКР «Космо АИС-М» разрабатывается бортовая аппаратура АИС (БА АИС) следующего поколения, построенная на ЭКБ отечественного производства с возможностью размещения в негерметичных отсеках КА. В БА АИС будет реализована возможность декодировать сообщения АИС и ASM (расширение стандарта АИС) на борту КА в непрерывном режиме с двух антенных систем. Предполагается размещение БА АИС на новых КА серии «Ресурс-ПМ» и «Обзор-Р» со сроком активного существования 5 лет. Применяемые в бортовой аппаратуре АИС унифицированные решения позволяют в дальнейшем адаптировать БА АИС для КА других серий.

Также проводятся работы по проектированию бортовой аппаратуры для проекта ГМИСС (Глобальная многофункциональная информационно-связная система) — инициативного проекта по созданию отечественной спутниковой низкоорбитальной системы для высокоскоростного обмена данными [8].

Заключение

За время работы БРК АИС было обнаружено более 23 тыс. судов в целевых акваториях и принято более 480 тыс. сообщений АИС. Полученные спектры сигналов позволили оценить количество и качество получаемых данных, оптимизировать алгоритмы обработки сигнала для их использования в дальнейших работах.

Результаты работы БРК АИС подтвердили целесообразность использования спутникового АИС в качестве дополнительного источника информа-

ции для комплексной интегрированной системы «МоРе» Министерства транспорта РФ.

Увеличение количества спутниковых приемников АИС и переход к непрерывному декодированию сообщений АИС на борту приведет к существенному увеличению потребительских качеств получаемых данных и позволит полноценно использовать аппаратуру в интересах заказчика и потребителей.

Список литературы

1. ITU, Recommendation ITU-R M.1371-4: Technical characteristics for an automatic identification system using time-division multiple access in the VHF maritime mobile band. <http://www.itu.int> (дата обращения: 10.06.2018).
2. Международная организация ИМО, Конвенция SOLAS. [Веб-узел организации ИМО] <http://www.imo.org/> (дата обращения: 10.06.2018).
3. Романов А.А., Романов А.А., Урличич Ю.М., Токарев А.С., Кузнецов А.М., Бобровский С.А., Трусов С.В. Космические средства автоматической идентификационной системы. Монография. М.: Радиотехника, 2016. 208 с.
4. Романов А.А., Кузнецов А.М., Романов А.А. Мониторинг судов из космоса: космический сегмент АИС. Полученные результаты, перспективы развития // Успехи современной радиоэлектроники, 2013, № 4. С. 64–72.
5. Кузнецов А.М., Романов А.А. Вероятность детектирования судов с передатчиком АИС с борта космического аппарата. Теоретическая модель. Сравнение с реальными результатами // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2014, т. 1, вып. 2. С. 40–46.
6. Кузнецов А.М., Романов А.А., Романов А.А. Методика обработки коллизий радиотехнических сигналов АИС на борту космического аппарата // Нелинейный мир, 2015, № 4. С. 35–42.
7. Кузнецов А.М., Романов А.А., Романов А.А. Моделирование приема коллизий сигналов АИС на борту КА // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2015, т. 2, вып. 1. С. 25–36.
8. Интернет-издательство РБК: «Цифровая экономика» выходит в космос <http://www.rbc.ru/> (дата обращения: 10.06.2018).