

# Проблемы навигационного обеспечения в Арктической зоне

К. В. Бакурский<sup>1</sup>, А. А. Макаров<sup>2</sup>, Р. Г. Никитин<sup>3</sup>  
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского  
<sup>1</sup>klim\_bak@mail.ru, <sup>2</sup>almakand@mail.ru, <sup>3</sup>nikitin\_rg@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотрены проблемы навигационного обеспечения при помощи космических и наземных систем в Арктическом регионе.

**Ключевые слова:** навигационное обеспечение; радионавигационные станции; Арктический регион

## I. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы происходит значительное увеличение деятельности Российской Федерации в Арктическом регионе, это обусловлено необходимостью обеспечения безопасности морской навигации, защиты и охраны государственной границы и обеспечения военной безопасности.

Для успешного осуществления этой деятельности необходимо иметь достаточный уровень навигационного обеспечения, который характеризуется следующим основным показателем: размер рабочей зоны, точность определения местоположения объектов, доступность, целостность, непрерывность обслуживания, дискретность измерений, пропускная способность.

## II. НАВИГАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

Радионавигационное обеспечение представлено космической (КНС) и наземной системами [1]. Наземные системы делятся на радионавигационные системы дальней (РСДН), ближней навигации (РСБН) и системы посадки и радиомаяки.

Основной системой навигационного обеспечения является космическая. К ней относятся глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС с системами функциональных дополнений и система Коспас-Саргат. Они выполняют задачи координатно-временного и навигационного обеспечения морских, воздушных, сухопутных и космических потребителей в абсолютном режиме до высот 2000 км, и дискретно – до высот 40000 км. Навигационные космические аппараты движутся по круговым орбитам с высотой 19100 км, наклоном 64,8°, сигналы имеют частоты от 1190 до 1610 МГц. Диаграмма направленности передающей антенны имеет ширину 38°.

За РСДН остается функция автономной резервной навигационной системы, она представлена стационарными и мобильными системами: «Маршрут» («Альфа»), «Тропик-2» («Чайка»), «Скорпион», «Марс-

75». Диапазон частот сигналов составляет от десятков килогерц до сотен мегагерц, дальность действия от сотен до десятков тысяч километров от ведущей станции с точностью определения места от десятков метров до единиц километров, в приполярных широтах точность может снижаться.

В зоне применения РСДН имеют доступность не менее 0,85, дискретность измерений – непрерывную, пропускную способность – неограниченную.

К РСБН относятся системы «РСБН-4Н (-8)», «РМА-90», «РМД-90», «ВОР» и «ДМЕ» для авиационных потребителей; «БРАС-3», «РС-10», «ГРАС», «Крабик-Б» для морских потребителей. Дальность действия составляет десятки километров. Диапазон частот сигналов составляет 200–4300 МГц. Пропускная способность единицы–сотни или неограниченная, дискретность измерений – непрерывная, средняя СКП местопределения – десятки метров.

Системы посадки функционируют в метровом и дециметровом диапазоне волн и обеспечивают движение воздушных судов в сложных метеоусловиях вблизи аэродромов. Дальность действия составляет десятки километров, дискретность измерений непрерывная, пропускная способность неограниченная, доступность не хуже 0,95, СКП местопределения – единицы метров.

Арктический регион слабо оборудован наземными радионавигационными системами. Навигационное обеспечение развито в некоторых прибрежных зонах, на маршруте Северного морского пути и в локальных районах аэродромов. Размещение контрольно-корректирующих станций (ККС) и зоны их действия приведены на рис. 1. [2]

Инфраструктура в Арктическом регионе развита слабо, поэтому ККС размещены только в доступных местах, вследствие чего возникают районы с локальными разрывами дифференциального поля. Для обеспечения непрерывного дифференциального поля предлагается дополнить существующие ККС дополнительными станциями.

Космические радионавигационные системы обеспечивают потребителей до широт около 80°, но обладают малой помехоустойчивостью и могут иметь СКП местопределения десятки метров. Сказываются особенности распространения радиоволн в этом регионе.

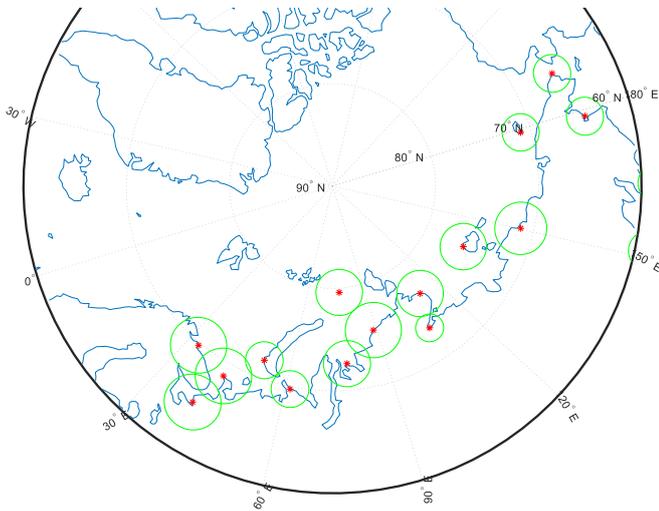


Рис. 1. Расположение ККС

### III. ПРОБЛЕМЫ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Наибольшей вклад в ошибку определения своего местоположения вносит задержка при распространении радиоволн и искривление траектории луча в ионосфере. Во время интенсивных магнитных возмущений возможно возникновение ситуации, когда определить свое местоположение нельзя. Задержки сигнала при распространении в ионосфере можно частично компенсировать при учете её параметров.

Для одночастотной аппаратуры потребителя возможна частичная компенсация ионосферной задержки по стандартной модели с помощью восьми параметров, передающихся в навигационном сообщении, но при этом не учитываются случайные факторы, составляющие для Арктической зоны большую часть.

Для двухчастотной аппаратуры возможна компенсация ионосферной задержки при измерении псевдодальности на разных частотах.

В Арктическом регионе ионосфера имеет сложный характер [3], её состояние зависит от большого числа факторов. От влияния потока заряженных частиц, излучаемых солнцем, возникают крупномасштабные неоднородности размером до нескольких километров, состоящих из плазмы и нейтральных частиц, сконцентрированных в нижних слоях ионосферы. Световое излучение солнца приводит к возникновению сгустков ионизации в слое F ионосферы. Параметры высокоширотной ионосферы, зависят от взаимодействия солнечного ветра и магнитосферы Земли, при этом сама ионосфера выступает как новый источник ионизации, на неё влияют электрические поля и токи, генерируемые плазменной циркуляцией. В зависимости от времени суток и уровня геомагнитной возмущенности возникают и меняют свое положение области повышенной и пониженной электронной концентрации. На подсолнечной стороне магнитосферы образуются две области, расположенные в направлении на солнце и отстоящие на  $10^{\circ}$ – $20^{\circ}$  от оси магнитосферы с протяженностью несколько

градусов по широте и десятки градусов по долготе, называемые полярными каспами. В них заряженные потоки частиц создают повышенную концентрацию электронов, что влияет на условия распространения радиоволн. Кроме этого в слое F образуется область, которой соответствует овал полярных сияний (рис. 2), удаленное от геомагнитного полюса ночью на  $17^{\circ}$ , а днем на  $10^{\circ}$  с шириной, зависящей от внешних условий, которая остается одинаково ориентированной относительно Солнца. Эта область называется плазменным кольцом и ей соответствует повышенная электронная концентрация. Со стороны низких широт к этой области примыкает главный ионосферный провал, в котором электронная концентрация значительно меньше. Положение ионосферного провала зависит от времени суток.

Области с широтой более  $60^{\circ}$  называют полярными шапками. При протонных вспышках на солнце, наблюдается повышенная ионизация слоя D ионосферы в этих областях, а повышенная электронная концентрация вызывает большое поглощение радиоволн. Есть несколько типов необычно большого поглощения радиоволн, отличающихся по продолжительности от минут до нескольких суток.

Область около полюса, в полярной шапке, окаймленная плазменным кольцом, также делится на участки с повышенной и пониженной электронной концентрацией в слое F<sub>2</sub> и не является горизонтально слоистой.

Отражение радиоволн от ионосферы в области полярной шапки носит рассеянный характер. При этом отражение радиоволн от слоя F<sub>2</sub> может отсутствовать, например, из-за полного поглощения радиоволн, экранирования слоем E<sub>s</sub>, диффузности слоя F<sub>2</sub>. В случае диффузных отражений радиосвязь возможна, но могут наблюдаться ее срывы из-за искажений сигналов.

Радиотехнические устройства для радионавигации в средних широтах, на разных диапазонах волн функционируют в высоких широтах неудовлетворительно.

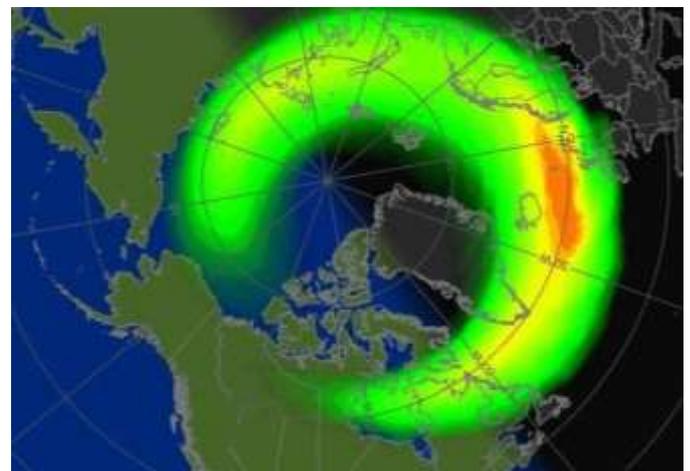


Рис. 2. Овал полярных сияний над северным полюсом

Излученный радиосигнал можно представить, как совокупность элементарных лучей, образующих пучок и

распространяющихся по собственным траекториям. Из-за того, что ионосфера изменяется во времени, меняется условие отражения каждого луча, и в точке приема амплитуда принимаемой радиоволны будет изменяться во времени, это называется замираниями сигнала. Характеристики этих изменений отражают особенности среды распространения радиоволны. Замирания сигнала вызываются интерференцией и фокусировкой отдельных лучей, а также поляризацией и рассеянием пучка. К основным характеристикам замираний относят их глубину, которая делит их на диффузные и дискретные и их скорость, которая делит их на быстрые и медленные.

Разным состояниям ионосферы будет соответствовать своя задержка при распространении сигналов систем РСДН. При невозможности приема сигналов КНС и использования только наземных радионавигационных систем СДВ и ДВ диапазонов, для повышения точности навигационных определений, предлагается использовать существующие ККС, которые обеспечат передачу дифференциальных поправок для РСДН. Для увеличения зоны обслуживания ККС, возможно использовать передачу дифференциальных поправок при помощи сверхдальнего распространения радиоволн коротковолнового диапазона. При этом можно передавать

сигнала малой мощности относительно простыми антенными системами.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для решения проблем навигационного обеспечения в Арктической зоне предлагается дополнить существующие ККС дополнительными станциями, обеспечить передачу ими дифференциальных поправок для РСДН. Предлагается передавать радиосигналы малой мощности и использовать сверхдальнее распространение радиоволн коротковолнового диапазона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Радионавигационный план Российской Федерации. Утвержден приказом Минпромторга России от 4 сентября 2019 г. N 3296.
- [2] Каретников В.В., Пашенко И.В., Соколов А.И. Построение системы управления и контроля высокоточным дифференциальным полем ГНСС ГЛОНАСС на северном морском пути // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. Вып. 6 (34). 2015. С. 166-171.
- [3] Распространение радиоволн в высоких широтах / Ю.Г. Мизун. М.: Радио и связь, 1986.