

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ПО СЕВЕРНОМУ МОРСКОМУ ПУТИ

А.А. Бермишев (ЦНИИмаш)

В 1974 г. окончил факультет аэрофизики и космических исследований Московского физико-технического института по специальности «динамика полета и управление». После окончания института работал в РКК «Энергия». С 1986 г. работает в Центральном научно-исследовательском институте машиностроения (ЦНИИмаш), с 1996 г. по настоящее время — начальник сектора Информационно-аналитического центра координатно-временного обеспечения. Кандидат технических наук.

Летом 2006 г., впервые после двадцатилетнего перерыва, был проведен эксперимент по исследованию навигационной обстановки в северных широтах. Для этих целей был осуществлен сквозной переход по Северному морскому пути из Мурманска в Петропавловск-Камчатский (рис. 1). Переход проходил при содействии Управления береговой охраны пограничной службы ФСБ РФ и был организован на двух пограничных сторожевых кораблях (ПСКР) береговой охраны северо-восточного управления пограничных войск «Магаданец» и «Карелия». В эксперименте принимали участие специалисты Центра управления полетами (ЦУП), расположенного в г. Королеве Московской области.

Целями эксперимента являлись:

- оценка точности определения плановых координат в северных широтах спутниковой навигационной аппаратурой различных отечественных и зарубежных производителей, в том числе с использованием дифференциального режима навигации;

- построение траектории движения судна на основании апостериорной обработки измерительной информации, собран-

ной в процессе перехода;

- анализ точности построения траектории движения корабля, полученной различными методами определений и алгоритмами обработки измерительной информации;

- определение реальной навигационной обстановки в процессе перехода;

- отработка технологии обмена данными между мобильным пунктом мониторинга на судне и ЦУП;

- отображение траектории движения судна в ЦУП во время перехода.

Процесс подготовки эксперимента включал период, связанный с согласованием участия специалистов ЦУП в данном пе-

реходе, определением состава спутниковой навигационной аппаратуры, ее приобретением, тестированием и настройкой. Дополнительно было разработано программно-математическое обеспечение (ПМО) для следующих целей: сбора и обработки навигационных данных, накапливаемых в процессе перехода; обеспечения связи с ЦУП в процессе перехода и передачи данных с корабля об его местоположении и погодных условиях на FTP-сервер ЦУП через систему спутниковой связи Globaltel; отображения положения корабля на цифровой географической карте в ЦУП; представления данных на сайте ИАЦ КВО в Интернет.

Переход по Северному мор-

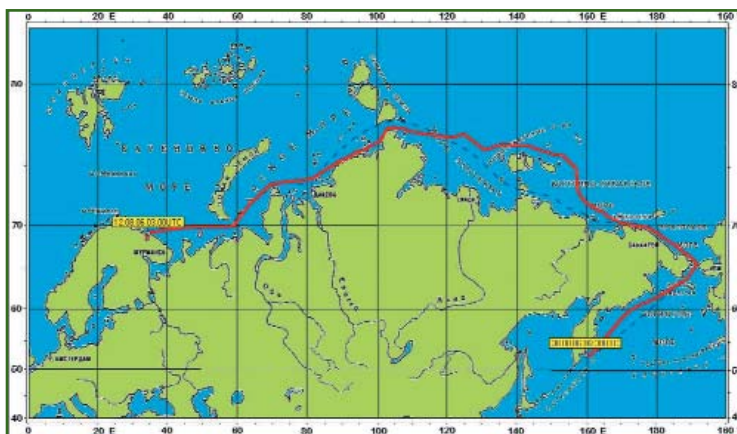


Рис. 1
Трасса перехода по Северному морскому пути

скому пути состоялся в рекордно короткие сроки, без заходов в порты Диксон, Тикси и Певек, и занял неполных восемнадцать суток.

Навигационная и связная аппаратура была установлена на ПСКР «Карелия» (рис. 2). Измерительная и навигационная информация записывалась с момента установки спутниковых приемников и антенн во время стоянки кораблей в бухте Кувшинская Салма (район Мурманска), на протяжении перехода и до прибытия в Авачинскую бухту (Петропавловск-Камчатский).

При проведении эксперимента использовалось следующее спутниковое навигационное оборудование:

- двухчастотные 24-х канальные спутниковые геодезические приемники ГЛОНАСС/GPS: Legacy, Махог (Javad Navigation Systems, США) и приемник РНИИ КП;

- одночастотные 16-ти канальные спутниковые приемники ГЛОНАСС/GPS (РИРВ): геодезический «Геодезия» К-161 и навигационный СПА;

- одночастотный 12-ти канальный навигационный спутниковый приемник GPS Etrex (Garmin, США).

Также был задействован одночастотный 16-ти канальный спутниковый навигационный приемник ГЛОНАСС/GPS «Котлин» МТ-102 (РИРВ), входящий в состав штатного навигационного оборудования корабля (рис. 3).

Для оценки точности опреде-



Рис. 2
Общий вид погранично-сторожевого корабля «Карелия»

ления пространственных координат в дифференциальном режиме использовались контрольно-корректирующие станции (ККС) на острове Олений и экспериментальная ККС на острове Мудьюг (район Архангельска).

Двухчастотные спутниковые приемники Legacy и Махог записывали «сырую» информацию круглосуточно с дискретностью 30 с, а приемник РНИИ КП — 15 с. Основной задачей сбора и обработки данной информации являлось построение траекторий движения фазовых центров антенн (ФЦА) спутниковых приемников. Наиболее точную траекторию предполагалось использовать в качестве эталонной для оценки точности определения пространственных координат одночастотной спутниковой навигационной аппаратурой. Данные, получаемые одночастотным приемником «Геодезия» К-161, также применялись для построения траектории движения корабля с помощью программного обеспечения VL-GEO (РИРВ). Информация с одночастотных навигационных спутниковых приемников ГЛОНАСС/GPS СПА и GPS Etrex использовалась для оценки точности определения пространственных координат в северных широтах этим типом приемников. Данные судового приемника «Котлин» МТ-

102 использовались для оценки точности определения пространственных координат при работе в дифференциальном режиме.

Имелись некоторые факторы, из-за которых возникали трудности, связанные с построением траекторий и оценкой качества определения координат:

- переотражение радиосигнала из-за конструктивных особенностей установки антенн (многолучевость);

- «затенения» от мачт с их многочисленными установками и штатными антеннами корабля;

- постоянные колебания корпуса корабля при переходе из-за качки, которые иногда достигали амплитуды до 30° на один борт (при волнении моря в 4–5 баллов) и приводили к периодической потере сигналов;

- влияние систематических погрешностей (помимо ионосферных), снижающих точность построения эталонной траектории, особенно при значительном удалении от опорных станций.

Следует отметить, что под траекторией движения корабля понималась траектория движения ФЦА одного из навигационных приемников, установленных на корабле. Траектория движения ФЦА представляет собой набор прямоугольных или географических координат, привязан-



Рис. 3
Спутниковый навигационный приемник ГЛОНАСС/GPS «Котлин» МТ-102

ных к моментам времени, в течение которых корабль находился на стоянке или двигался. Траектория движения строилась с момента установки антенн и приемников на ПСКР «Карелия», во время его стоянки в бухте Кувшинская Салма в период с 4 по 12 августа и на протяжении перехода в Авачинскую бухту (Петропавловск-Камчатский) с 12 по 30 августа. Для построения эталонной траектории по данным двухчастотных приемников ГЛОНАСС/GPS использовались следующие методы.

1. Метод относительной привязки к Международной геодезической сети IGS. Задача решалась с использованием суточных RINEX-файлов методом вторых фазовых измерений. Этот метод применялся в период стоянки ПСКР «Карелия» в бухте Кувшинская Салма.

2. Дифференциальный метод определения координат с использованием вторых разностей кодовых измерений, сглаженных с помощью фазовых измерений L1 и L2. Задача решалась на каждую эпоху RINEX-файла в период стоянки и в процессе движения корабля. Для периода стоянки и в процессе перехода в качестве опорных пунктов выбирались различные станции.

3. Метод абсолютных определений координат по кодовым измерениям, сглаженных с помощью фазовых измерений. Фазовые измерения в процессе предварительной обработки были скорректированы для устранения потерь фазы. В этом методе использовались бортовые эфемериды и высокоточные «финальные» эфемериды космических аппаратов ГЛОНАСС и GPS.

Уточняемыми параметрами являлись координаты ФЦА двухчастотных спутниковых приемников Legasy, Махог и РНИИ КП, а также, при использовании третьего метода — поправки часов и «влажные» тропосферные задержки. Для контроля точности определения координат ФЦА

двухчастотных приемников использовались расстояния между центрами антенн, измеренные при их установке на кронштейны ПСКР «Карелия» (рис. 4).

Проведенные исследования данных, полученных на стоянке в бухте Кувшинская Салма в период с 5 по 7 августа, показали следующее. Точность определения координат фазовых центров антенн двухчастотных спутниковых приемников первым методом, при использовании в качестве опорных пунктов для привязки станций Менделеево и Онсала (Швеция), составила 30–40 см. Средние значения расстояний между ФЦА, вычисленные по этим координатам, достаточно точно совпали с их фактическими значениями (в пределах 3–5 см). Это позволило принять значения координат ФЦА приемников, определенных первым методом, в качестве истинных, при оценке точности координат, определенных двухчастотными приемниками с помощью других методов в период стоянки. В результате оценки суммарная ошибка отклонения координат ФЦА двухчастотных приемников, определенных вторым методом от станций Менделеево и Онсала (Швеция), составила 3–4 м в плане. Средние квадратические отклонения (СКО) координат ФЦА двухчас-



Рис. 4
Расположение антенн и спутниковых приемников на ПСКР «Карелия»

тотных приемников, полученные методом абсолютных определений, рассчитанных в ЦУП, при использовании бортовых эфемерид, составили 1,0–1,2 м, а с помощью высокоточных «финальных» эфемерид — 0,83–0,95 м.

Построение эталонной траектории движения ПСКР «Карелия» в процессе перехода выполнялось вторым и третьим методами. При использовании дифференциального метода, в качестве опорных пунктов для привязки выбирались различные станции — Менделеево, Норильск, Тикси, Хабаровск, Билибино и Петропавловск-Камчатский. Расстояние от движущегося корабля до выбранных станций изменялось от 5 км до 2000 км и более.

Средние значения отклонений между двумя измеренными расстояниями до станций привязки различными приемниками

Дата измерения	Станция привязки	Диапазон расстояний до станции привязки, км	R1, м	R2, м
18 августа	Норильск	1043–1407	3,51	1,67
19 августа	Тикси	612–687	3,04	2,32
21 августа	Билибино	850–595	2,46	1,57
22 августа	Билибино	595–283	2,19	0,91
23 августа	Билибино	271–524	2,01	0,75
24 августа	Билибино	524–894	2,20	0,95
25 августа	Билибино	1062–1028	2,81	0,96
27 августа	Петропавловск	1483–1060	2,54	0,67
28 августа	Петропавловск	1060–585	2,95	0,71
29 августа	Петропавловск	585–100	1,89	0,61
30 августа	Петропавловск	100–10	1,69	0,69

В некоторых случаях в качестве эталонной траектории использовались результаты обработки измерений, выполненных спутниковым приемником Legasy в относительном режиме, штатным программным обеспечением (ПО) для постобработки Pinnacle. Погрешность определения опорной траектории по внутренней оценке данного ПО составляла от нескольких сантиметров до 1,5–2 м, в зависимости от удаления выбранных для привязки станций. Результаты построения траектории при помощи Pinnacle и ПМО ЦУП согласуются на уровне заявляемой точности (порядка 1–2 м).

Данные, полученные в процессе перехода с помощью одночастотного геодезического приемника «Геодезия», обрабатывались специалистами РИРВ. В качестве опорных пунктов последовательно использовались станции Норильск, Тикси, Билибино и Петропавловск. Построенные траектории движения ФЦА приемника «Геодезия» сравнивались с траекториями движения ФЦА двухчастотных приемников Legasy и Махог. В таблице приведены средние значения отклонений между двумя измеренными расстояниями до станции привязки приемниками «Геодезия» и Махог (R1), Махог и Legasy (R2). Приведенные результаты показывают, что точность построения эталонной

траектории составляет десятки сантиметров и зависит от расстояния до пункта привязки.

Была выполнена оценка точности построения траектории по данным приемника «Геодезия» относительно траектории, полученной по результатам обработки измерений, выполненных приемником Legasy и обработанных с помощью ПО Pinnacle в относительном режиме. Вычисленные значения СКО показали, что на удалении от опорного пункта менее 500 км решения, полученные по данным одночастотных спутниковых приемников, хорошо (лучше 1 м) согласуются с результатами, полученными с помощью двухчастотных спутниковых приемников.

Для оценки точности дифференциального режима использовалась информация судового навигационного спутникового приемника «Котлин» МТ-102. На рис. 5 показан участок трассы перехода, в период прохождения которого приемник МТ-102 принимал дифференциальные поправки от ККС на мысе Олений. По результатам обработки данных спутникового приемника «Котлин» МТ-102 и траектории ФЦА приемника Legasy, принятой в качестве эталонной, было вычислено среднее СКО координат антенны приемника «Котлин» МТ-102, которое составило 2–3 м в плане.

Навигационный спутниковый

приемник GPS Etrex устойчиво обеспечивал навигацию на протяжении всего перехода и записывал информацию в виде трека. Отклонения его навигационных решений от эталонной траектории, полученные в режиме постобработки, составили не более 10 м.

Следует заметить, что хотя большая часть обработанных данных была собрана в высоких широтах, в условиях крайнего Севера, каких-либо специфических эффектов при обработке результатов эксперимента отмечено не было. На участках трассы, на которых проводился сравнительный анализ точности, работа приемников, использованных в эксперименте, проходила штатно, и точность определения координат не уступала результатам, получаемым на испытаниях в средних широтах.

Практически на всем участке перехода условия для навигации на основе комбинированной аппаратуры, использующей сигналы двух глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) ГЛОНАСС и GPS, с избытком обеспечивали надежное определение местоположения объектов с хорошей точностью. Также можно констатировать, что на протяжении перехода видимое созвездие спутников GPS было достаточным для навигационных определений. Что касается работ по сигналам ГНСС ГЛОНАСС, то, ввиду неполноты развертывания группировки в указанный период, имелись существенные ограничения для навигации только по ГЛОНАСС. Суммарное время отсутствия навигации с использованием ГНСС ГЛОНАСС за период перехода составило, примерно, 117 ч, т. е. около 27% от общего времени перехода.

По ходу эксперимента ежедневно проводились сеансы связи между ПСКР «Карелия» и сотрудниками ЦУП, которые обеспечивали отображение хода эксперимента. Связь осуще-



Рис. 5

Участок трассы, на котором осуществлялся прием дифференциальных поправок

ствлялась системой сотовой связи Globaltel через спутниковую систему Globalstar. Для автоматизированного обмена с ЦУП использовалось разработанное и отлаженное ПМО. Обмен осуществлялся через FTP-сервер корпорации «Подлипки». Поскольку расписания сеансов связи со спутниками системы Globalstar на корабле не имелось, попытки установить связь с Интернет предпринимались всякий раз, когда на телефонном аппарате загорался индикатор установки связи со спутником. До 77° СШ удавалось установить связь по несколько раз в день. 19 августа, когда, при прохождении в районе мыса Челюскин, была достигнута самая северная точка экспедиции — 77,44° СШ, связь удалось наладить только один раз. Но это хороший показатель, поскольку гарантированная связь через систему Globalstar обеспечивается только до 74° СШ.

Таким образом, в ЦУП круглосуточно поступала информации о переходе по Северному морскому пути экспедиции. Используя полученную информацию, специалисты ЦУП могли отображать на сайте прикладного потребительского центра информационно-аналитического центра трассу перехода по Северному морскому пути.

Полученные в результате эксперимента данные могут быть использованы для доработки навигационной аппаратуры и программно-математического обеспечения; для построения высокоточных границ водных акваторий; для высокоточной привязки аппаратуры и оборудования при проведении водолазных работ, работ на морском шельфе при разработке полезных ископаемых, высокоточном определении координат затонувших кораблей и т. п.

Учитывая результаты эксперимента и практические шаги,

предпринятые в последнее время Правительством РФ по вопросам полного развертывания спутниковой группировки ГНСС ГЛОНАСС, целесообразно продолжить исследования навигационной обстановки на трассах Северного морского пути с использованием действующих и разрабатываемых образцов отечественной и зарубежной навигационной спутниковой аппаратуры потребителя.

RESUME

An experiment conducted along the lines of the Northern Sea Route in August 2006 is described. Certain experiment results are considered for studying the navigation situation as well as estimating the positioning quality along the route. Accuracy estimates are given for the route trajectory retrieval using various navigation positioning techniques, including relative, absolute and differential.



NovAtel Inc.

Технология SPAN™

Высокоточное комплексное позиционирование ГНСС+ИНС





- Высокоточные ГНСС приемники NovAtel в комплексе с коммерческими Блоками Инерциальных Измерений
- Координаты, скорости и элементы ориентации с частотой до 200 Гц
- Компактное модульное решение

- Качественные решения даже в условиях неблагоприятных для спутниковых определений
- Жестко связанный алгоритм интеграции
- Повышение точности при постобработке в пакете Inertial Explorer
- Приемлемая стоимость



научнопроизводственная компания

109388, г. Москва, ул. Полбина, д. 3, стр. 1
 тел.: (495) 232-28-70, факс: (499) 722-44-13
 e-mail: info@GPScom.ru, web: www.GPScom.ru