

## О применении спутниковой геодезической аппаратуры ГЛОНАСС/ GPS для испытаний корабельных навигационных комплексов

### *1 Характеристики спутниковой геодезической аппаратуры ГЛОНАСС/GPS*

1.1 Спутниковая геодезическая аппаратура (СГА) ГЛОНАСС/GPS в настоящее время позволяет:

– определять взаимное положение антенн СГА, на расстояниях ( $D$ ) до 30 км друг от друга, в реальном времени (режим RTK – real time kinematic) с частотой измерений от 1 до 200 Гц со следующими среднеквадратическими погрешностями (СКП):

$$\text{– плановых координат} \quad \text{– } (1 \text{ см} + 10^{-6}D); \quad (1)$$

$$\text{– высоты} \quad \text{– } (2 \text{ см} + 10^{-6}D); \quad (2)$$

– определять значение курса в реальном времени с частотой измерений от 1 до 50 Гц с СКП  $\text{– } (0,2^\circ/R)$ ,

где  $R$  – расстояние между антеннами на корабле в метрах;

– определять значения проекций линейной скорости антенны СГА в реальном времени с частотой измерений от 1 до 50 Гц со следующими СКП:

$$\text{– горизонтальной} \quad 1\text{--}2 \text{ см/с};$$

$$\text{– вертикальной} \quad 2\text{--}3 \text{ см/с};$$

– при размещении на корабле мультиантенной СГА – определять значения курса, углов крена и дифферента в реальном времени с частотой измерений от 1 до 50 Гц со следующими СКП:

$$\text{– курса} \quad \text{– } (0,2^\circ/R); \quad (3)$$

$$\text{– углов крена} \quad \text{– } (0,4^\circ/R), \quad (4)$$

где  $R$  – расстояние между антеннами на корабле в метрах.

1.1 Спутниковая геодезическая аппаратура (СГА) ГЛОНАСС/GPS в настоящее время позволяет:

– определять взаимное положение антенн СГА, на расстояниях ( $D$ ) до 30 км друг от друга, в реальном времени (режим RTK – real time kinematic) с частотой измерений от 1 до 200 Гц со следующими среднеквадратическими погрешностями (СКП):

$$\text{– плановых координат} \quad \text{– } (1 \text{ см} + 10^{-6}D); \quad (1)$$

$$\text{– высоты} \quad \text{– } (2 \text{ см} + 10^{-6}D); \quad (2)$$

– при размещении на корабле мультиантенной СГА – определять значения курса, углов крена и дифферента в реальном времени с частотой измерений от 1 до 50 Гц со следующими СКП:

$$\text{– курса} \quad \text{– } (0,2^\circ/R); \quad (3)$$

$$\text{– углов крена, дифферента} \quad \text{– } (0,4^\circ/R), \quad (4)$$

где  $R$  – расстояние между антеннами на корабле в метрах;

– определять значения проекций линейной скорости антенны СГА в реальном времени с частотой измерений от 1 до 50 Гц со следующими СКП:

$$\text{– горизонтальной} \quad 1\text{--}2 \text{ см/с};$$

$$\text{– вертикальной} \quad 2\text{--}3 \text{ см/с}.$$

Как видно из формул (1) и (2) – увеличение расстояния между антеннами ( $D$ ) приводит к увеличению (в размере 1 мм/км) значения СКП определения плановых координат и высоты антенн относительно друг друга и, при  $D$  – до 30 км, они не превышают 4 – 5 см, соответственно.

Ограничение дальности расстояния  $D$  до 30 км связано не с дальностью прямой видимости, а с увеличением влияния неоднородности ионосферы и тропосферы, исключающих надежное использование дифференциальных фазовых методов в реальном времени.

Как видно из формул (3) и (4) – увеличение расстояния между антеннами на корабле ( $R$ ) приводит к снижению значения СКП измерения углов ориентации корабля. При значениях СКП на уровне  $0,02^\circ$  (когда

R=10 м и более) определяющими, точностные характеристики, будут другие факторы, в первую очередь, многолучевость распространения радиосигналов ГЛОНАСС/GPS и изгиб корпуса корабля на волнении.

1.2 Для решения навигационных задач, при испытаниях корабельных навигационных комплексов, с указанными в п.1.1 характеристиками, СГА собирается по типовой схеме, приведенной на рисунке 1. При этом один из комплектов, который расположен на берегу (или плавсредстве), считается базовым.

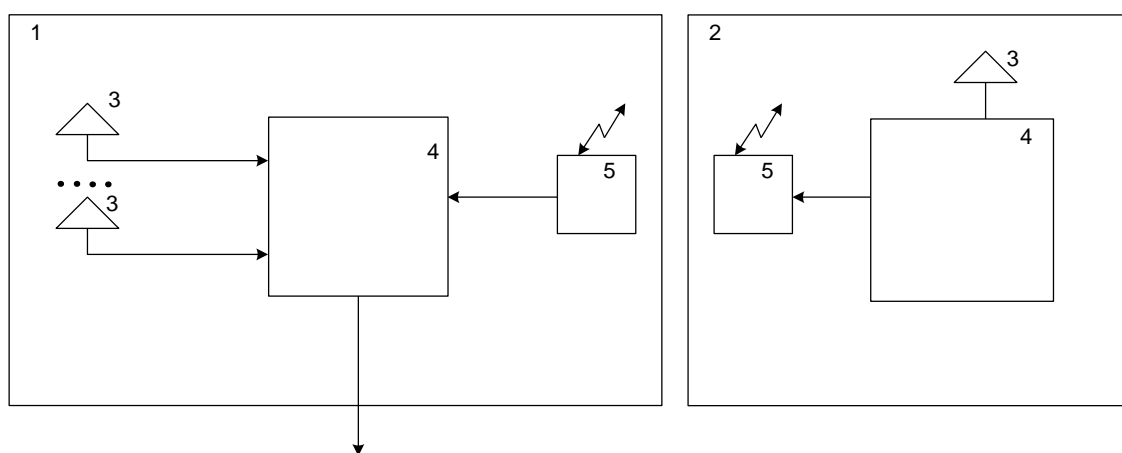


Рисунок 1 – Типовая схема спутниковой геодезической аппаратуры

На рисунки 1 обозначены:

- 1 – корабельный комплект СГА;
- 2 – береговой (базовый) комплект СГА;
- 3 – приемные антенны ГЛОНАСС/GPS;
- 4 – спутниковый приемник ГЛОНАСС/GPS;
- 5 – модем.

Такая СГА широко распространена на рынке и используется, в основном, для обеспечения гидрографических работ в прибрежной зоне. Указанный комплект стоит от 600 тыс. рублей и дороже, в зависимости:

- от фирмы-производителя;
- количества приемных каналов, рабочих частот и возможности использования дополнительных систем – Галилео, WAAS, и пр.;

– частоты выдачи данных (1 Гц – дешевле, 20 Гц и более – дороже);  
 – качества программного обеспечения спутниковых приемников ГЛОНАСС/GPS.

1.3 Для применения в морских условиях, в мире, широкое распространение нашла СГА, приведенная в таблице 1.

Таблица 1

Тип СГА, Фирма-производитель	Характеристики	Примечания
SPS461 GPS Heading and Positioning Receiver Trimble	GPS L1/L2 RTK Определение курса	двухантенный
MS860 GPS Heading and Positioning Receiver Trimble	GPS L1/L2 RTK Определение курса	двухантенный
ProFlex500 Ashtech	ГЛОНАСС, GPS L1/L2 75 универсальных каналов RTK	одноантенный
Seatex Seapath 200 RTK High Grade Heading, Attitude and Positioning Sensor Kongsberg Maritime	GPS L1/L2 RTK Определение курса	двухантенный
ADU5 Ashtech	GPS L1/L2 RTK Определение курса, углов крена и дифферента	четыреантенный

1.4 Особенности работы СГА в режиме кинематики реального времени (RTK) следующие:

– необходимость непрерывности канала связи через радиомодемы корабельного и берегового (базового) комплектов СГА для обеспечения непрерывности сравнения фазовых измерений базового и корабельного комплектов СГА;

– ограничение расстояния  $D$  между корабельным и береговым (базовым) комплектами СГА до 30 км, связанное с пространственной изменчивостью условий распространения радиоволн и справедливое для аппаратуры с применением двухчастотных приемников L1/L2, работающей в режиме RTK.

Для одночастотной СГА, ограничение расстояния  $D$  составляет до 10 км.

## ***2 Варианты применения СГА ГЛОНАСС/ GPS для испытаний корабельных навигационных комплексов***

2.1 При маневрировании корабля на акватории в удалении не более 30 км от неподвижной точки суши (мыса, острова), сбор и обработка навигационной информации может вестись по схеме, показанной на рисунке 2.

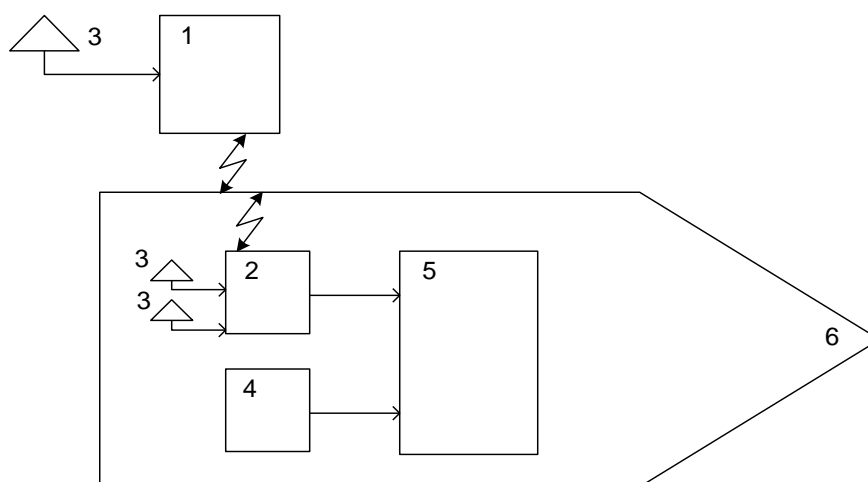


Рисунок 2 – Типовая схема сбора и обработки информации при проведении испытаний корабельного НК (базовый комплект на берегу)

На рисунке 2 обозначены:

- 1 – базовый комплект СГА;
- 2 – корабельный комплект СГА;
- 3 – приемные антенны СГА;
- 4 – корабельный НК;
- 5 – персональный компьютер со специальным программным обеспечением (ПО) для сбора и обработки результатов испытаний;
- 6 – корпус корабля.

#### 2.1.1 Возможные варианты применения СГА.

##### 1. Калибровка гидроакустического лага (ГАЛ).

Погрешности определения перемещения корабельной приемной антенны ГАЛ лежат в пределах 5 см на временных интервалах 16-256 с, что достаточно для определения значения скорости с погрешностями на уровне 1 см/с и менее.

При калибровке ГАЛ с применением СГА учитывается также, методическая погрешность – изменение взаимного положения корабельных приемных антенн СГА и ГАЛ на измерительном галсе.

Уменьшение методической погрешности возможно при следующих факторах:

- учете влияния изменения курса и углов качки корабля по данным НК;
- увеличении длины галса при малых изменениях курса и углов качки.

2. Проверка погрешности выработки скорости по данным ГАЛ. (с учетом п. 2.1.1.1).

3. Проверка погрешности выработки инерциальной скорости.

4. Проверка погрешности выработки навигационным комплексом перемещений, в трех координатах (перемещений для обеспечения выставки инерциальных систем корабельных потребителей).

5. Проверка погрешности выработки навигационным комплексом курса, путем пеленгования с корабля берегового ориентира с координатами, ранее определенными СГА.

2.1.2 Указанная типовая схема сбора и обработки информации при проведении испытаний корабельного НК (базовый комплект на берегу), может быть использована и для инструментального контроля швартовых операций, а также широко используется при проведении гидрографических работ в прибрежной зоне.

2.2 При маневрировании корабля на удалении не более 30 км от плавучего объекта, на котором размещен базовый комплект СГА, сбор и обработка информации может вестись по схеме, приведенной на рисунке 3.

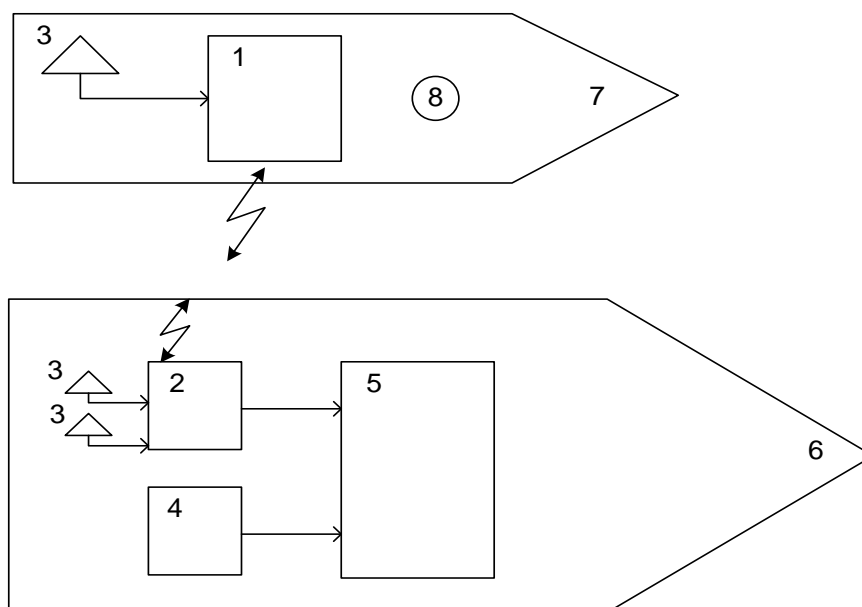


Рисунок 3 – Типовая схема сбора и обработки информации при проведении испытаний корабельного НК (базовый комплект на плавсредстве)

На рисунке 3 обозначены:

- 1 – базовый комплект СГА;
- 2 – корабельный комплект СГА;
- 3 – приемные антенны СГА;
- 4 – корабельный НК;

5 – персональный компьютер со специальным ПО для обработки результатов испытаний;

6 – корпус корабля;

7 – корпус плавсредства.

8 – ориентир на плавсредстве;

### 2.2.1 Возможные варианты применения СГА.

1. Проверка погрешности выработки навигационным комплексом курса, путем пеленгования ориентира на плавсредстве с координатами, ранее определенными СГА.

2. Проверка погрешностей измерения пеленга и дальности до ориентира на плавсредстве с использованием корабельных систем наблюдения и целеуказания (радиолокационных и лазерных).

### 2.3 Использование мультиантенной СГА.

2.3.1 В отличие от гироскопических средств, погрешности мультиантенной СГА не зависят от характера маневрирования и широты места проведения испытаний, а в основном определяются величиной расстояния между корабельными антеннами, как указано в п. 1.1 и условиями приема радиосигналов.

2.3.2 При размещении антенн СГА вдоль и перпендикулярно диаметральной плоскости корабля, могут быть получены эталонные значения курса и углов качки корабля (Патент на полезную модель №101173 в РФ). При этом не требуется обеспечение данными фазовых измерений от базовой станции, функцию антенны которой выполняет одна из приемных антенн корабельного комплекта СГА (Рисунок 4).



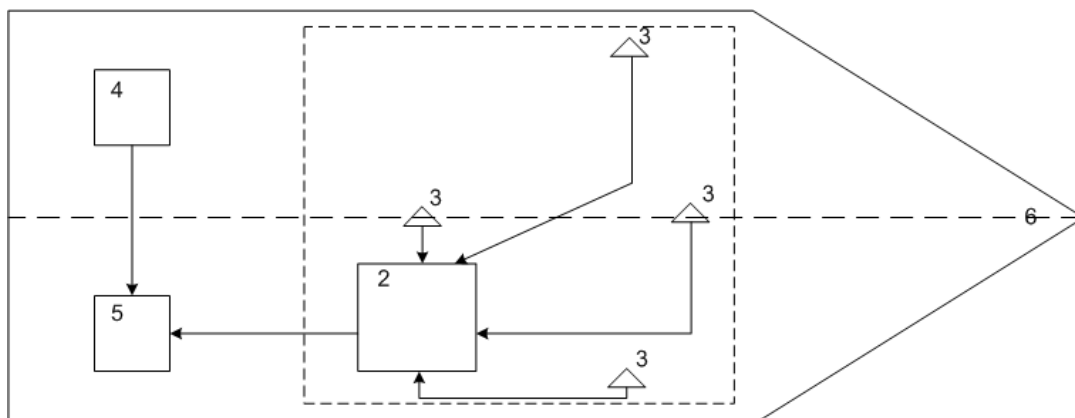


Рисунок 4 – Типовая схема сбора и обработки информации при проведении испытаний корабельного НК без использования базового комплекта СГА

На рисунке 4 обозначены:

- 1 – корабельный комплект СГА;
- 2 – аппаратура обработки данных корабельного комплекта СГА;
- 3 – приемные антенны СГА;
- 4 – корабельный НК;
- 5 – персональный компьютер со специальным ПО для обработки результатов испытаний;
- 6 – диаметральной плоскость корабля.

### 2.3.3 Возможные варианты применения мультиантенной СГА.

1. Проверка погрешности курса и динамики ее его изменения для корабельного компаса.

1. Проверка погрешности определения курса корабельным компасом и динамики его изменения.

2. Проверка погрешности углов качки и динамики их изменения для корабельного навигационного комплекса.

2. Проверка погрешности определения корабельным навигационным комплексом углов качки и динамики их изменения.

Имеются несколько более экзотических вариантов использования СГА, которые можно обсудить при личной встрече с заинтересованными лицами.