

Государственная корпорация по космической деятельности Роскосмос  
Министерство просвещения Российской Федерации

**Рабочая тетрадь**  
по программе

**Навигация**

г. Москва, 2020 г.

## Оглавление

Тема №1 «Вводное занятие» .....	4
Урок №1 .....	4
Тема №2 «Понятие навигации» .....	6
Урок №2 .....	6
Тема №3 «История развития навигации» .....	8
Урок №3 .....	8
Тема №4 «Ориентирование на местности различными способами».....	12
Урок №4 .....	12
Урок №5 .....	14
Тема №5 «Ориентирование без карты» .....	16
Урок №6 .....	16
Урок №7 .....	19
Тема №6 «Различные навигационные системы. Их классификация» .....	21
Урок №8 .....	21
Урок №9 .....	24
Тема №7 «Автомобильная навигация. Навигационные системы на автотранспорте» .....	26
Урок №10 .....	26
Урок №11 .....	29
Тема №8 «Форма и размеры Земли» .....	31
Урок №12 .....	31
Урок №13 .....	34
Урок №14 .....	38
Урок №15 .....	40
Тема №9. «Морская навигация. Определение направления в море» .....	42
Урок №16 .....	42
Урок №17 .....	45
Урок №18 .....	48
Урок №19 .....	50
Тема №10. «Аэронавигация. Системы посадки по приборам» .....	51
Урок №20 .....	51
Урок №21 .....	55
Урок №22 .....	58
Урок №23 .....	60
Тема №11. «Космическая и спутниковая навигация» .....	62
Урок №24 .....	62
Урок №25 .....	67
Тема №12. «Структура спутниковых навигационных систем» .....	69
Урок №26 .....	69
Урок №27 .....	72
Урок №28 .....	75
Тема №13. «Система ГЛОНАСС: история и перспективы развития».....	78
Урок №29 .....	78

Урок №30 .....	82
Урок №31 .....	85
Тема №14. «ГЛОНАСС-М, ГЛОНАСС-К» .....	87
Урок №32 .....	87
Урок №33 .....	90
Тема №15. «Орбитальная группировка» .....	92
Урок №34 .....	92
Урок №35 .....	96
Урок №36 .....	100
Урок №37 .....	103
Тема №16. «Программа «Сфера» .....	105
Урок №38 .....	105
Урок №39 .....	108
Урок №40 .....	112
Урок №41 .....	113
Тема №17. «Итоговое занятие» .....	115
Урок 42 .....	115

## Тема №1 «Вводное занятие»

### Урок №1

Теоретический материал

Во избежание несчастного случая на уроке рекомендуется выполнять следующие правила:

- приходи на урок за пять минут до звонка;
- входи в кабинет только с разрешения учителя;
- во время практики надень специальную одежду;
- сиди на закрепленных местах и не вставай без разрешения учителя;
- работу начинай только с разрешения учителя. Когда учитель обращается к тебе, приостанови работу. Не отвлекайся во время работы;
- не пользуйся инструментами, правила обращения с которыми не изучены;
- употребляй инструменты только по назначению;
- не работай неисправными и тупыми инструментами;
- при работе держи инструмент так, как показал учитель;
- инструменты и оборудование храни в предназначенном для этого месте. Нельзя хранить инструменты в беспорядке;
- содержи в чистоте и порядке рабочее место;
- раскладывай инструменты и оборудование в указанном учителем порядке;
- не разговаривай во время работы;
- выполняй работу внимательно, не отвлекайся на посторонние дела;
- во время перемены необходимо выходить из кабинета;
- по окончании работы убери свое рабочее место.

Во избежание несчастного случая при работе с ножницами или канцелярским ножом на уроке рекомендуется выполнять следующие правила:

- соблюдай порядок на своем рабочем месте;
- перед работой проверь исправность инструментов;
- не работай ножницами/канцелярским ножом с ослабленным креплением;
- работай только исправным инструментом: хорошо отрегулированными и заточенными ножницами/канцелярским ножом;
- работай ножницами/канцелярским ножом только на своем рабочем месте;
- следи за движением лезвий во время работы;
- ножницы клади справа, сомкнутыми лезвиями от себя;
- передавай ножницы кольцами вперед с сомкнутыми лезвиями;
- не оставляй ножницы/канцелярский нож открытыми;
- храни ножницы/канцелярский нож в чехле лезвиями вниз или в специально отведенном для этого месте;
- не играй с ножницами/канцелярским ножом, не подноси ножницы/канцелярский нож, не роняй ножницы/канцелярский нож;
- используй ножницы/канцелярский нож по назначению;
- не проверяй остроту лезвий пальцем.

#### **Контрольные вопросы:**

- назовите основные правила поведения на уроках «Навигации»;
- перечислите правила безопасной работы с ножницами и другими инструментами;
- назовите основные темы курса «Навигация»;
- кратко опишите темы курса и их возможное применение на практике.

#### **Домашнее задание**

**Задание №1.** Подготовиться к устному опросу по теме «Основы техники безопасности»:

1. Перечислить основные правила поведения по технике безопасности в классе.
2. Назвать основные рекомендации при использовании острых предметов (ножницы, канцелярский нож).
3. Что может произойти в результате нарушения правил техники безопасности?

## **Тема №2 «Понятие навигации»**

### **Урок №2**

#### Теоретический материал

Что такое навигация? В широком значении латинское слово «navigatio» издавна означало «мореплавание». Более узкое значение понятия «навигация» – деятельность по выполнению точного безопасного плавания судов. Основными задачами для мореплавателей были: определение местоположения, курса и скорости судна, предотвращение попадания на мель или рифы, выбор наилучшего пути.

С течением времени люди стали осваивать и другие среды. Появились такие виды навигации как воздушная (аэронавигация), космическая, наземная и подземная. Конечная цель – определение местоположения объекта и параметров его движения, управление его движением по желаемой траектории. Можно встретить в литературе слова «радионавигация», «астрономическая навигация», «инерциальная навигация» и т.д. Важно отметить, что это не отдельные виды навигаций, а та же навигация (воздушная, морская, космическая), но осуществляется она с использованием технических средств определенного вида (радиотехнических, астрономических и т.д.).

Объект в навигации – тело с определенными, иногда даже внушительными, размерами. Им могут быть: наземное транспортное средство, воздушное судно, морское судно и т.д. Его рассматривают как точку, в качестве которой берут центр масс. Эта точка перемещается в пространстве.

Рассмотрим несколько важных фундаментальных понятий:

**Пространственное место судна (ПМС)** – точка в пространстве, в которой в данный момент времени находится центр масс судна.

**Место судна (МС)** – проекция пространственного места судна (ПМС) на земную поверхность.

**Траектория** – линия, описываемая ПМС при его движении.

**Линия пути** – линия, описываемая МС при его движении (проекция траектории на земную поверхность).

Траектория и ПМС в общем случае находятся в пространстве (в воде, в воздухе), а линия пути и МС – на земной поверхности.

Земная поверхность в навигации не реальный физический рельеф с неровностями, а усредненная земная поверхность.

Траектория и линия пути могут быть **заданными** (по которым нужно перемещаться) и **фактическими** (по которым на самом деле перемещается судно).

**Линия заданного пути (ЛЗП)** – линия, по которой должно перемещаться МС в соответствии с планом, а **линия фактического пути(ЛФП)** – по которой оно перемещается на самом деле. ЛФП и ЛЗП никогда точно не совпадают вследствие многих факторов. Наиболее вероятные из них – погрешности навигационных измерений и влияние внешней среды. Основная задача – добиться максимальной близости ЛФП и ЛЗП.

### **Контрольные вопросы:**

- назовите определение понятия «навигация»;
- какие существуют виды навигации;
- перечислите основные понятия в навигации;
- в чем отличие линии заданного пути от линии фактического пути?

**Задание №2.** Ответить письменно на вопрос:

В каких еще науках можно встретить понятия «точка», «траектория», «линия пути», «пространственное место объекта»?

## Домашнее задание

Задание №3.Подготовиться к устному опросу по теме «Что такое навигация?»:

1. Дать определение понятию «навигация».
2. Перечислить основные виды навигации.
3. Изучить первые фундаментальные понятия навигации «ПМС», «МС», «траектория», «линия пути», «ЛЗП», «ЛФП».

## Тема №3 «История развития навигации»

### Урок №3

#### Теоретический материал

Понятие «навигация» первоначально относился к морскому судовождению. В настоящее время он охватывает широкий круг видов деятельности человека, где необходимо определять текущее местоположение различных подвижных объектов с целью обеспечения их движения по заданным траекториям или контроля траекторий.

Сегодня существует мало достоверных сведений о зарождении и первых шагах истории развития навигации. До появления навигационных приборов применялось визуальное ориентирование. Например, на суше и в прибрежных зонах ориентировались по характерным элементам рельефа местности. При плавании в открытом море основными ориентирами были небесные тела, которые положили начало астронавигации.

Первые навигационные приборы появились в Древнем Китае. Ими были прототип прибора для определения расстояния, называемого **одометром**, и навигационное устройство – **«указатель юга»**. Около 2000 г. до н.э. в Древнем Китае стали использовать первые карты морских побережий и рек с указанием направлений движений судов.

#### Эпоха Античности

Эпоха Античности – исторический период, охватывающий цивилизации Древней Греции и Древнего Рима. Для этого времени характерно



стремительное развитие астрономии и математики, что оказало влияние на прогресс методов и средств навигации и картографии. Свой вклад в развитие навигации внесли ученые: Гераклид Понтийский, Аристарх Самосский, Эратостен Киренский, Гиппарх Никейский, Клавдий Птолемей.

Уже в III веке до н.э. древним астрономам был известен и использовался для измерений на небесной сфере **квадрант-угломерный** – астрономический инструмент для измерения высоты небесных светил и угловых расстояний между ними. А также к III веку до н.э. относится первое упоминание об использовании в прибрежной навигации **маяков**.

### Средние века

Этому периоду соответствовало активное развитие мореплавания и сухопутной международной торговли. Прогрессу поспособствовало изобретение магнитного компаса, которое дело толчок развитию навигации и других наук. Магнит для определения стран света стали использовать между 400 и 300 гг. до н.э. Были изобретены такие приборы как **квадрант, кросс-стаф, бэк-стафф**. Это время характеризуется эпохой великих географических открытий.

В XVII и XVIII веках особое внимание уделялось наукам: физике, математике, астрономии, классической механике. Галилео Галилей, Исаак Ньютон, Христиан Гюйгенс знаменитые ученые того времени. В этот период были изобретены **морские часы**, а затем **секстант**, используемый для измерения высоты светила над горизонтом с целью определения географических координат.

Астрономическая навигация получила огромное преимущество от изобретения хронометра и секстанта: вместе с компасом они стали основными инструментами судоводителя, применяются до сих пор.

Навигация в Россию как самостоятельная наука пришла в эпоху Петра I, указом которого 14 января 1701 г. в Москве была создана «Навигацкая школа».

XIX век – век пара и электричества. Оснащение судов паровыми двигателями означало революцию в мореплавании. Появилась насущная

потребность в совершенствовании и развитии средств навигации, а также в систематизации знаний, накопленный в этой области.

Огромный вклад в развитие навигации внесло изобретение гироскопа и создание на его основе гироскопического компаса (гироскопа). Изобретатель механического гироскопа – Иоганн Боненбергер.

### **XXвек**

В XX веке появилась новая обширная область применения методов и средств навигации – аэронавигация. Уже в первые десятилетия XX века самолеты стали использовать как транспортное и боевое средство, на них устанавливали навигационные приборы.

Быстрое развитие в XX веке автомобильного транспорта способствовало использованию еще одной сферы транспортной навигации – маршрутную навигацию. Дальнейшее развитие цифровых технологий картографии и микропроцессоров стало основой для создания первых автономных транспортных навигационных систем. Прототип первой автоматической системы управления маршрутом появился в начале 1970-х гг. Первая автономная система с использованием цифровых карт, хранящихся на CD-ROM и отражающихся на цветном дисплее – в середине 1980-х гг., а первая автономная система с использованием приемника GPS – в 1990-х гг.

### **Контрольные вопросы:**

- где появились первые навигационные приборы;
- назовите основные этапы развития навигации;
- перечислите имена ученых, которые внесли вклад в процесс становления навигации как науки;
- какие навигационные приборы были изобретены в период средних веков.

### **Задание на уроке**

#### **Задание №4**

На основе изученного теоретического материала на уроке соотнесите эпоху и изобретенные в это время приборы и заполнить таблицу.

Эпохи: Эпоха Античности, Средние века, XX век, XXI век.

Приборы: квадрант-угломерный, одометр, «указатель юга», морские часы, секстант, квадрант, гироскоп, гироскопический компас, магнитный компас, навигатор GPS, приемник GPS, кросс-стафф, бэк-стафф, антенна GPS.

<u>Эпоха</u>	<u>Приборы</u>

### Домашнее задание

Задание №5. Подготовиться к устному опросу по теме «История развития навигации»:

- 1) Назовите основные этапы в истории развития навигации.
- 2) Перечислите изобретения, созданные в эпоху античности.
- 3) Какие науки внесли особый вклад в развитие навигации.
- 4) Сформулируйте отличительные черты навигационных систем XXвека.

## Тема №4 «Ориентирование на местности различными способами»

### Урок №4

#### Теоретический материал

Ориентирование на местности – поиск направлений сторон света и своего местонахождения относительно местных предметов и форм рельефа. Ориентирование при передвижении на незнакомой местности состоит в определении расстояний, направления движения и выдерживании этого направления до выхода к ориентиру. Ориентироваться можно без карты и по карте. Рассмотрим более подробно ориентирование по карте.

Ориентирование по карте может носить общий или детальный характер.

Общее ориентирование – приблизительное определение своего местоположения, вектора движения и времени на преодоление маршрута. Например, оно используется, когда маршрут уже проложен заранее, для контроля соблюдения пути.

Детальное ориентирование – точное определение своего местоположения и направления движения на карте. Применяется, когда отклонение от заданного маршрута может быть опасным.

При этом одновременно с ориентированием по карте важно уметь быстро и точно определять стороны света, проводить измерения расстояний до ориентиров и углы направлений по карте и на местности, составлять схему движения по азимутам.

Ориентиры необходимы для определения местоположения относительно них и корректировки маршрута. Представляют собой легкоразличимые по своей форме и окраске формы рельефа.

Площадные ориентиры. Их особенность – значительная площадь. К таким ориентирам относятся: поселения, водоемы, болота, лесные массивы и т.д. Их можно определить и запомнить на этапе подготовки к походу при составлении маршрута.

Линейные ориентиры. Сооружения и рельефные формы, отличающиеся своей протяженностью при относительно небольшой ширине. К ним относятся: дороги, каналы, реки, трубопроводы, линии электропередач (ЛЭП), овраги, каньоны и т.д. Подходят для контроля соблюдения заданного направления при передвижении.

Точечные ориентиры. Отличаются небольшой площадью, но отмечаются на картах. К ним относятся: строения, башни, перекрестки, горные вершины и т.д. Применяются при определении собственного местоположения.

Процесс ориентирования на местности по карте делится на два этапа:

1. Ориентирование самой карты относительно сторон света;
2. Определение собственного месторасположения.

Рассмотрим первый этап. Для его выполнения необходимо придать карте такое положение, чтобы ее верхний обрез был обращен к северу, а остальные – соответственно сторонам света.

Ориентирование карты по компасу.

Проводится на закрытой, бедной ориентирами местности. Чтобы сориентировать карту, нужно приложить компас к одной из ее вертикальных линий. Например, к линиям километровой сетки, или к раме, компас так, чтобы направление стрелки компаса совпадало с направлениями сторон света на карте. В таких случаях обычно северный конец стрелки компаса совпадает с верхним краем карты.

Если прибор был приложен к километровой сетке, то после его размещения карту следует повернуть в горизонтальной плоскости так, чтобы верх рамки карты совпал с северным направлением компаса. При этом магнитная стрелка прибора отклонится от отметки севера на величину поправки. Поправка при этом будет составлять сумму угла сближения меридианов и угла магнитного склонения.

Если же компас размещается относительно рамки карты или истинного меридиана, то поправкой в таком случае будет являться угол магнитного склонения.

Второй этап – определение своего местоположения.

Свое местоположение проще всего определить, если вы находитесь у какого-нибудь заметного ориентира, отображенного на карте. Например, моста, сооружения, скалы и т.д. Также можно оценить свое местоположение по близлежащим ориентирам на глаз.

### **Контрольные вопросы:**

- как можно ориентироваться на местности;
- какие есть характеры ориентирования на местности по карте;
- назовите основные виды ориентиров;
- опишите этапы ориентирования.

### **Домашнее задание**

Задание №6. Подготовиться к устному опросу по теме «Ориентирование на местности различными способами»:

- что представляет собой ориентирование на местности;
- каким может быть ориентирование по карте;
- перечислите основные виды ориентиров;
- назовите этапы ориентирования на местности по карте и кратко опишите их.

## **Урок №5**

Теоретический материал

Как правильно ориентироваться по компасу:

Стрелка всегда указывает на север, поскольку она чувствительна к металлу. Учитывая эту особенность, главное правило инструкции к компасу гласит, что его нельзя использовать рядом с металлическими предметами, линиями электропередач или железнодорожными путями, так как показания будут искажаться.

При использовании прибор обязательно нужно положить на ровную поверхность и постараться не двигать его. При этом есть специальные спортивные и военные модели, показания которых не искажаются, даже если человек бежит.

По периметру прибора находится циферблат (лимб), на котором обозначены углы от 0 до 360 градусов.

Стрелки окрашены в разные цвета. Если одна стрелка красная, а вторая синяя, то первая будет указывать на юг, а вторая на север. Однако в большинстве случаев окрашена только одна стрелка и именно она указывает северное направление.

Соответственно, если встать лицом по направлению, указанному стрелкой, то юг будет находиться за спиной, запад слева, а восток справа.

### Задания на уроке

#### Практическая работа №1

1. Укажите стрелками части компаса:



МАГНИТНАЯ СТРЕЛКА  
КОРПУС  
ПРЕДОХРАНИТЕЛЬ

2. Определите:

- в какую сторону горизонта обращены окна класса \_\_\_\_\_
- направление, в котором расположена дверь класса \_\_\_\_\_
- направление, в котором расположен стол учителя \_\_\_\_\_
- направление, в котором находится школьная столовая \_\_\_\_\_

- направление, в котором находится школьный двор \_\_\_\_\_
- в каком направлении расположена доска в классе \_\_\_\_\_

3. Схематично зарисуйте сориентированную по компасу карту, отобразите стороны горизонта и крупные населенные пункты.

### **Домашнее задание**

Задание №7. Подготовить доклады (по желанию):

1. Способы определения расстояний на местности.
2. Определение размеров по росту и тени.
3. Определение времени без часов.

### **Тема №5 «Ориентирование без карты»**

#### **Урок №6**

Теоретический материал

Для поиска направления по сторонам света изначально определяют направление север-юг. После этого, встав лицом к северу, человек будет иметь справа направление на восток, слева – на запад. Стороны света обычно находят по компасу, а при его отсутствии по небесным светилам или по некоторым местным предметам.



## Определение сторон горизонта по компасу

Нужно отпустить тормоз стрелки и установить компас горизонтально. Затем повернуть его так, чтобы северный конец магнитной стрелки совпал с нулевым делением шкалы. При таком положении компаса надписи на шкале С, Ю, В, З будут обращены соответственно на север, юг, восток и запад.

## Определение сторон горизонта по небесным светилам

При отсутствии компаса или в районах магнитных аномалий, где компас может дать ошибочные показания (отсчеты), стороны горизонта можно определить по небесным светилам: днем – по Солнцу, ночью – по Полярной звезде или Луне.

По Солнцу. В северном полушарии места восхода и захода Солнца по временам года следующее:

- зимой Солнце восходит на юго-востоке, а заходит на юго-западе;
- летом Солнце восходит на северо-востоке, а заходит на северо-западе;
- весной и осенью Солнце восходит на востоке, а заходит на западе.

По Солнцу и часам. В горизонтальном положении часы устанавливаются так, чтобы часовая стрелка была направлена на Солнце. Угол между часовой стрелкой и направлением на цифру 1 на циферблате часов делится пополам прямой линией, которая указывает направление на юг. До полудня надо делить пополам тот угол, который стрелка должна пройти до 13:00, а после полудня – тот угол, который она прошла после 13:00.

По Полярной звезде. Полярная звезда всегда находится на севере. Чтобы найти Полярную звезду, нужно сначала найти созвездие Большой Медведицы, напоминающее ковш, составленный из семи ярких звезд. Затем через две крайние правые звезды Большой Медведицы мысленно провести линию, на которой отложить пять раз расстояние между этими крайними звездами, и тогда в конце этой линии найдем Полярную звезду, которая находится в хвосте другого созвездия, называемого Малой Медведицей. Став лицом к Полярной звезде, получится направление на север.

По Луне. Если из-за облачности Полярной звезды не видно, но видна Луна, то можно воспользоваться этим светилом. Летом в первую четверть Луна в 19 часов находится на юге, в 1 час ночи – на западе, в последнюю четверть в 1 час ночи – на востоке, в 7 часов утра – на юге. При полнолунии ночью стороны горизонта определяются так же, как по Солнцу и часам. Луна принимается за Солнце.

#### Определение сторон горизонта по местным предметам

Если нет компаса и не видно небесных светил, то стороны горизонта можно определить по некоторым признакам местных предметов.

По таянию снега. Южная сторона предметов нагревается больше, чем северная, соответственно, и таяние снега с этой стороны происходит быстрее. Это видно ранней весной и во время оттепелей зимой на склонах оврагов, лунках у деревьев, снегу.

По тени. В полдень направление тени (самой короткой) указывает на север.

По местным предметам. Смола больше выступает на южной половине ствола хвойного дерева, муравьи устраивают свои жилища с южной стороны дерева или куста и делают южный склон муравейника более пологим, чем северный. Кора березы и сосны на северной стороне темнее, чем на южной, а стволы деревьев, камни, выступы скал гуще покрыты мхом и лишайниками.

По постройкам. К постройкам, которые строго ориентированы по сторонам горизонта, относятся: церкви, мечети, синагоги. В домах сельской местности больше окон в жилых помещениях прорубается с южной стороны, а краска на стенах строений с южной стороны выцветает больше и имеет тусклый цвет.

#### **Контрольные вопросы:**

- какие существуют способы ориентирования на местности без карты;
- опишите алгоритм определения сторон горизонта по компасу и небесным светилам;

- как ориентироваться на местности, если нет компаса и не видно небесных светил.

### Домашнее задание

Задание №8. Подготовиться к устному опросу по теме «Ориентирование без карты»:

- назовите основные способы ориентирования на местности без карты;
- опишите алгоритм определения сторон горизонта по компасу и небесным светилам;
- сформулируйте способы ориентирования на местности, если нет компаса и не видно небесных светил.

### Урок №7

Теоретический материал

Как правильно ориентироваться по Луне и часам:

1 способ. Визуально разложите лунный диск на отрезок с 12 равными частями, и затем подсчитайте количество отрезков, которые приходятся на освещенную часть диска. Сверьте со временем наблюдения, и если вы видите стареющий серп – прибавьте к этому числу. Если же это растущая фаза, то действовать нужно строго наоборот, и вычитать полученное число. Этот результат говорит о том, где бы в это же самое время находился спутник в полной фазе. Зная, что в полной фазе светило всегда параллельно солнцу, вы можете с легкостью определить стороны света. Теперь направьте полученный сектор циферблата на сам спутник. В зимнюю пору года юг будет находиться на одно деление выше от намеченного, а в летнюю – на два деления выше.

2 способ. Разделите лунный диск на отрезок с шестью секциями, затем посчитайте количество освещенных участков. Теперь направьте часы отметкой 12 на спутник. Следующий шаг – прибавьте к отметке результат подсчета подсвеченных участков, если светило стареющее, и отнимите, если

растущее. Пример – освещено три из шести секторов отрезка, вы прибавляете к 12 еще 3, и получаете 15. В этом направлении и будет находиться солнце, а, следовательно, и юг. Можно также воспользоваться заранее проверенными положениями спутника в определенное время дня. Если фаза – первая четверть, то в семь часов она будет находиться на юге, в час ночи на западе, а утром после семи часов её уже не будет видно. Последняя же четверть оборота в час ночи будет указывать на восток, а в семь утра на юг.

### Задания на уроке

#### Практическая работа №2

1. Заполните таблицу, используя предложенные местные признаки:

Кора берез светлее, более крутая сторона муравейника, обильнее смола на стволах хвойных деревьев, снег раньше тает весной на склонах, гуще лишайник на стволах, грубее кора деревьев.

На севере	На юге
...	...

2. Представьте, что вы оказались ночью в лесу и вам необходимо определить стороны горизонта. Небо ясное, из приборов у вас имеются часы. Составьте план ориентирования на местности.

### **Домашнее задание**

Задание №9. подготовить доклады (по желанию):

1. Ориентирование на местности по звездам.
2. Ориентирование на местности по азимуту.
3. Определение времени по Солнцу.

### **Тема №6 «Различные навигационные системы. Их классификация»**

#### **Урок №8**

Теоретический материал

**Навигационная система** – совокупность приборов, алгоритмов и программного обеспечения, позволяющих произвести ориентирование объекта в пространстве, осуществить навигацию.

Навигационные системы обеспечивают ориентацию с помощью:

- карт, имеющих видео, графический или текстовый форматы;
- датчиков или других внешних источников;
- спутниковой связи;
- информации от других объектов.

Типы навигационных систем:

- спутниковая система навигации;
- инерциальная навигация.

**Спутниковая система навигации** – комплексная электронно-техническая система, состоящая из совокупности наземного и космического оборудования, предназначенная для определения местоположения (географических координат и высоты) и точного времени, а также параметров движения (скорости и направления движения и т.д.) для наземных, водных и воздушных объектов.

Спутниковые системы навигации находят применение в следующих областях:

- геодезия: с помощью систем навигации определяются точные координаты точек;
- картография: системы навигации используются в гражданской и военной картографии;
- навигация: с применением систем навигации осуществляется как морская, так и дорожная навигация;
- спутниковый мониторинг транспорта: с помощью систем навигации ведется мониторинг за положением, скоростью автомобилей, контроль за их движением;
- сотовая связь: первые мобильные телефоны с GPS появились в 90-х годах. В некоторых странах (например, США) это используется для оперативного определения местонахождения человека, звонящего 911;
- тектоника, тектоника плит: с помощью систем навигации ведутся наблюдения движений и колебаний плит.

**Инерциальная навигация** – метод навигации (определения координат и параметров движения различных объектов – судов, самолетов, ракет и др.) и управления их движением, основанный на свойствах инерции тел, являющийся автономным, т.е. не требующим наличия внешних ориентиров или поступающих извне сигналов. Неавтономные методы решения задач навигации основываются на использовании внешних ориентиров или

сигналов (звезд, маяков, радиосигналов и т.п.). Это достаточно простые методы, но иногда они не могут быть осуществлены из-за отсутствия видимости или наличия помех для радиосигналов и т.п. Необходимость создания автономных навигационных систем явилась причиной возникновения инерциальной навигации.

Суть инерциальной навигации состоит в определении ускорения объекта и его угловых скоростей с помощью установленный на движущемся объекте приборов и устройств, а по этим данным – местоположения (координат) этого объекта, его курса, скорости, пройденного пути и др., а также в определении параметров, необходимых для стабилизации объекта и автоматического управления его движением. Это осуществляется с помощью:

- акселерометров – датчиков линейного ускорения;
- гироскопических устройств, воспроизводящих на объекте систему отсчета и позволяющих определять углы поворота и наклона объекта, используемые для его стабилизации и управления движением;
- вычислительных устройств (ЭВМ), которые по ускорениям (путем их интегрирования) находят скорость объекта, его координаты и др. параметры движения.

Преимущества методов инерциальной навигации состоят в автономности, помехозащищенности и возможности полной автоматизации всех процессов навигации. Благодаря этому методы инерциальной навигации получают все более широкое применение при решении проблем навигации надводных судов, подводных лодок, самолетов, космических аппаратов и других движущихся объектов.

#### **Контрольные вопросы:**

- дайте определение понятию «навигационные системы»;
- назовите типы навигационных систем;

- сформулируйте определение спутниковой навигационной системы и инерциальной навигации;
- перечислите преимущества методов инерциальной навигации.

### **Домашнее задание**

**Задание №10.** Подготовиться к устному опросу по теме «Различные навигационные системы. Их классификация»:

- сформулируйте определение «навигационные системы»;
- перечислите типы навигационных систем;
- назовите отличия спутниковой навигационной системы от инерциальной системы;
- опишите преимущества инерциальной системы.

### **Урок №9**

Теоретический материал

Основные элементы спутниковой системы навигации:

#### **Космический сегмент**

Космический сегмент, состоящий из навигационных спутников, представляет собой совокупность источников радионавигационных сигналов, передающих одновременно значительный объем служебной информации. Основные функции каждого спутника - формирование и излучение радиосигналов, необходимых для навигационных определений потребителей и контроля бортовых систем спутника.

#### **Наземный сегмент**

В состав наземного сегмента входят космодром, командно-измерительный комплекс и центр управления. Космодром обеспечивает вывод спутников на требуемые орбиты при первоначальном развертывании навигационной системы, а также периодическое восполнение спутников по мере их выхода из строя или выработки ресурса. Главными объектами космодрома являются техническая позиция и стартовый комплекс. Техническая позиция обеспечивает прием, хранение и сборку ракет-носителей



и спутников, их испытания, заправку и состыковку. В число задач стартового комплекса входят: доставка носителя с навигационным спутником на стартовую площадку, установка на пусковую систему, предполетные испытания, заправка носителя, наведение и пуск.

Командно-измерительный комплекс служит для снабжения навигационных спутников служебной информацией, необходимой для проведения навигационных сеансов, а также для контроля и управления ими как космическими аппаратами.

Центр управления, связанный информационными и управляющими радиопередачами с космодромом и командно-измерительным комплексом, координирует функционирование всех элементов спутниковой навигационной системы.

### **Задания на уроке**

#### **Практическая работа №3**

1. Составьте таблицу с преимуществами и недостатками спутниковых и инерциальных систем:

п/п	Преимущества	Недостатки
Спутниковая навигационная система		
Инерциальная навигационная система		

--	--	--

2. Подумайте над навигационной системой, в которой сочетаются преимущества спутниковой и инерциальной навигационных систем. Сформулируйте название, параметры для определения, устройство системы и области применения.

### **Домашнее задание**

Задание №11. Подготовить доклады (по желанию) по темам:

1. Использование навигационных систем в сельском хозяйстве.
2. Использование навигационных систем для обеспечения безопасности.
3. Использование навигационных систем в строительстве.

### **Тема №7 «Автомобильная навигация. Навигационные системы на автотранспорте»**

#### **Урок №10**

Теоретический материал

**Автомобильная навигационная система** предназначена для определения положения транспортного средства, выбора и сопровождения маршрута движения.

Существует несколько видов автомобильных навигационных систем: штатная, мобильная, а также навигационное программное обеспечение портативных компьютеров и смартфонов.

Штатная навигационная система устанавливается на заводе-изготовителе автомобиля. В штатное место могут устанавливаться совместимые навигационные системы других производителей.

Мобильная навигационная система представляет собой портативное автономное навигационное устройство, которое приобретается отдельно и устанавливается на лобовом стекле или приборной панели.

Также в качестве автомобильного навигатора могут быть использованы портативный компьютер, смартфон и обычные модели мобильных телефонов, если в них установлены соответствующие навигационные программы.

#### **Функции автомобильной навигационной системы:**

- определение положения;
- ввод пункта назначения;
- расчет маршрута;
- сопровождение по маршруту.

Определение положения (позиционирование) автомобиля осуществляется по сигналам навигационных спутников. Для того, чтобы определить положение (широту и долготу) автомобиля, нужно принять сигналы минимум 3-х спутников. Сигнал от 4-го спутника позволяет определить еще и высоту над уровнем моря. При получении сигналов GPS-приемник вычисляет расстояние до каждого спутника, на основании которого определяются пространственные координаты автомобиля.

В мире функционирует две спутниковые навигационные системы: американская **GPS**(глобальная система позиционирования) и российская **ГЛОНАСС** (глобальная навигационная спутниковая система). В отличие от GPS система ГЛОНАСС имеет меньшее количество спутников более низкую точность определения положения. Точность позиционирования системы GPS составляет 2-4 м, ГЛОНАСС – 3-6 м. Наибольшую точность (2-3 м) дает

совместное использование GPS и ГЛОНАСС, которое реализовано в ряде мобильных навигаторов.

В определенных условиях (движение в городе, тоннеле) получение сигналов от спутников становится проблематичным. В штатной навигационной системе для позиционирования в условиях плохого сигнала используются датчики угловой скорости колес и датчики продольного и поперечного ускорения. С помощью датчиков оценивается скорость и направление движения.

В мобильных системах такую функцию выполняет навигационная программа. При потере сигнала система считает, что автомобиль движется по заданному маршруту с постоянной скоростью.

**Ввод пункта назначения** в навигационной системе осуществляется несколькими способами: по адресу, по названию, по координатам и непосредственной точкой на карте. В ряде штатных и мобильных навигационных систем реализован голосовой ввод пункта назначения.

После ввода пункта назначения система производит расчет маршрута с учетом множества факторов: улицы с односторонним движением, мосты, тупики и др. Наиболее экономичный маршрут учитывает два фактора: расстояние и время. Времени отдается большее предпочтение.

Эти маршруты не учитывают текущую ситуацию на дороге: пробки, аварии, ремонт и др. Поэтому наибольшим спросом у автомобилистов пользуются навигационные системы, предлагающие **динамический расчет** маршрута с учетом дорожной обстановки. Информация о дорожной обстановке может передаваться в режиме реального времени двумя способами: по радиосвязи и через интернет.

**Сопровождение по маршруту** реализуется с помощью визуальных и голосовых указаний. Они выдаются последовательно от перекрестка к перекрестку.

#### **Контрольные вопросы:**

- для чего предназначена автомобильная навигационная система;

- перечислите виды автомобильных навигационных систем;
- как осуществляется ввод пункта назначения в навигационной системе;
- как реализуется сопровождение по маршруту.

### Домашнее задание

Задание №12. Подготовиться к устному опросу по теме «Автомобильная навигация. Навигационные системы на автотранспорте»:

- для чего предназначена автомобильная навигационная система;
- назовите спутниковые навигационные системы, используемые в автотранспорте;
- перечислите функции автомобильной навигационной системы.

### Урок №11

Теоретический материал

Практически у каждого GPS-устройства доступны четыре основные функции:

**Отображение местоположения.** На основе данных со множества спутников GPS-навигатор точно определяет ваше местоположение в виде координат — широты и долготы, а также в системе координат UTM.

**Навигация от точки к точке.** Место расположения или назначения называется «точка трека». Например, вы можете установить отправную точку маршрута с помощью функции отображения месторасположения. И если вам известны координаты места назначения, взятые с обычной или компьютерной карты, рекламного буклета, интернета и других источников, то GPS-навигатор может отобразить маршрут по прямой линии и расстояние к пункту назначения. Но так как маршруты редко идут по прямой линии, то по мере передвижения эта линия будет изменяться. Также с приближением к цели будет уменьшаться расстояние к месту назначения.

**Навигация по маршруту.** Вы можете задать несколько промежуточных точек маршрута и передвигаться от точки к точке. На каждом этапе показывается направление и расстояние до следующей точки маршрута. То

есть, как только вы достигнете первой заданной точки маршрута, GPS-приёмник автоматически направит вас к следующей точке или же вы сможете сделать это вручную.

**Запись маршрута.** К одной из самых полезных функций GPS-навигатора относится его способность записывать маршрут в виде пройденных точек. Эта функция отличается от функции навигации по маршруту, которая подробно указывает в каком направлении вы идёте. Вы можете настроить GPS-навигатор так, чтобы он автоматически отмечал пройденные точки маршрута через определённые промежутки времени или расстояния. Чтобы пройти маршрут в обратном направлении, просто следуйте назад по записанной GPS-навигатором последовательности точек маршрута.

### **Задание на уроке**

#### **Практическая работа №4**

Представьте, что вам необходимо добраться из пункта А в пункт Б. У вас имеется автомобильная навигационная система – навигатор. Составьте план начала пользования GPS-устройством. Опишите план действий для достижения пункта Б с использованием GPS-устройства и какие задачи решает автомобильная навигационная система до начала маршрута и в процессе.

### **Домашнее задание**

Задание №13.Подготовиться к устному опросу по теме «Автомобильная навигация. Навигационные системы на автотранспорте»:

- назовите основные этапы составления маршрут с помощью автомобильной навигационной системы?
- какие задачи решает автомобильная навигационная система до начала маршрута?
- какие задачи решает автомобильная навигационная система в процессе движения?

## Тема №8 «Форма и размеры Земли»

### Урок №12

#### Теоретический материал

Планета Земля имеет уникальную форму геоида, что в переводе с греческого означает «землеподобный». Плотность масс Земли в ее толще распределена крайне неравномерно, поэтому уровенная поверхность Земли (воображаемая поверхность, которую можно представить как продолжение поверхности вод Мирового океана над всеми материками) образует сложное трехмерное тело – геноид, не поддающийся какому-либо математическому описанию. Это затрудняет обработку навигационных измерений на поверхности Земли, поэтому для решения задач морской навигации геноид заменяют его моделью – эллипсоидом вращения. Эллипсоид – фигура, полученная в результате вращения эллипса вокруг его малой оси. При этом возможны следующие допущения:

- объем эллипсоида равен объему геноида;
- большая полуось эллипсоида  $a$  совпадает с плоскостью экватора геноида;
- малая полуось  $b$  направлена по оси вращения Земли.

В различные годы в разных странах были разработаны земные эллипсоиды, поверхности которых максимально совпадали с поверхностью вод Мирового океана в конкретных его районах. Такие эллипсоиды получили название референц-эллипсоидов и явились геодезической основой для создаваемых морских карт.

В России принят референц-эллипсоид Ф.Н. Красовского, разработанный им в 1946 г. и использовавшийся до настоящего времени для создания морских навигационных карт. Он имеет параметры: большая полуось  $a = 6\,378\,245$  м, малая полуось  $b = 6\,356\,863$  м, полярное сжатие  $\alpha = (a - b)/a = 1:298,3$ .

Для решения специальных навигационных задач, например, определения места судна с помощью спутниковых радионавигационных систем и создания морских карт используют референц-эллипсоид, имеющий

международных статус. В настоящее время таким референц-эллипсоидом является модель WGS-84 (США, 1984 г., World Geodetic System), представляющая собой разработанный с использованием спутниковых наблюдений Земли международный общеземной усредненный референц-эллипсоид.

Координаты одних и тех же объектов на картах, составленный по различным референц-эллипсоидам, не совпадают, поэтому требуется использование поправок по широте и долготы, указываемых в заголовке карты. Если карты составлены в разных странах, то переход с одной карты на другую осуществляется не по географическим координатам, а по пеленгу и дистанции относительно нанесенного на карты навигационного ориентира.

За модель геоида может быть принята и более простая геометрическая фигура – сфера (шар). Погрешности перехода от геоида к шару при решении ряда навигационных задач можно считать пренебрежимо малыми. При условии равенства объема земного шара объему референц-эллипсоида Красовского радиус земной сферы составляет 6 371 110 м.

Таким образом, в зависимости от требуемой точности решения задач навигации Земля принимается за референц-эллипсоид (высокая степень приближения) или за сферу (более низкая степень приближения).

Для определения положения судна на поверхности Мирового океана используют следующие условные точки, линии и плоскости.

**Земная ось** – воображаемая линия, вокруг которой происходит суточное вращение Земли. Эта ось совпадает с малой осью земного референц-эллипсоида.

Земная ось пересекает поверхность Земли в двух точках, называемых географическими полюсами ( $P_N$  и  $P_S$ ). Полюс, со стороны которого вращение Земли усматривается против часовой стрелки, называют северным, его антипод – южным географическим полюсом. Географические полюса называют также истинными.



При пересечении сфероида плоскостями, перпендикулярными оси вращения Земли, на ее поверхности образуются окружности, называемые параллелями. Самой большой параллелью является экватор – параллель, плоскость которой проходит через центр Земли. Следует отметить, что любая плоскость, проходящая через центр земного шара, на его поверхности образует условную линию, называемую дугой большого круга. Если плоскость не проходит через центр Земли, то эта условная линия является дугой малого круга. Следовательно, в семействе параллелей экватор является дугой большого круга, остальные параллели представляют собой дуги малого круга.

При пересечении Земли плоскостями, проходящими через земную ось, на поверхности земного сфероида образуются «следы», называемые географическими или истинными меридианами, из множества которых следует выделить два – гринвичский (нулевой) меридиан и меридиан наблюдателя. Гринвичский меридиан получил название от Гринвичский обсерватории, расположенной в пригороде Лондона. Меридиан, проходящий через место наблюдателя, называется истинным меридианом наблюдателя.

**Вертикальная или отвесная линия** – это прямая, совпадающая с направлением силы тяжести в данной точке или прямая, перпендикулярная поверхности Земли и направленная в ее центр.

**Зенит наблюдателя** – точка пересечения отвесной линии с воображаемой небесной сферой. Противоположная точка называется надиром.

**Плоскость истинного горизонта наблюдателя** – это горизонтальная плоскость, проходящая через место наблюдателя перпендикулярного отвесной линии.

**Полуденная линия** – воображаемая линия на плоскости истинного горизонта наблюдателя, образованная в результате ее пересечения с истинным меридианом наблюдателя. Эта линия соответствует направлению «север-юг» в месте наблюдателя (линия N–S).

**Вертикальные плоскости** – это плоскости, которые проходят через отвесную линию. Плоскость первого вертикала, перпендикулярная плоскости истинного меридиана наблюдателя, образует на плоскости истинного горизонта наблюдателя воображаемую линию «восток-запад» (линия E–W). Линии N–S и E–W представляют собой главные направления (румбы).

### **Контрольные вопросы:**

- какую форму и модель имеет планета Земля;
- какие существуют принятые модели референц-эллипсоидов;
- дайте определение понятию «земная ось».

### **Домашнее задание**

**Задание №14.** Подготовиться к устному опросу по теме «Форма и размеры Земли»:

- опишите особенности формы Земли;
- назовите принятые референцы-эллипсоиды и их отличия;
- перечислите основные точки, линии и плоскости наблюдателя на земной поверхности;
- дайте определение понятиям «земная ось», «зенит наблюдателя», «плоскость истинного горизонта наблюдателя».

## **Урок №13**

Теоретический материал

Географическая система счета направлений (относительно северной части истинного меридиана наблюдателя) определяет два основных понятия в судовождении – истинный курс и истинный пеленг.

**Истинный курс** – это угол в плоскости горизонта между северной частью истинного меридиана наблюдателя и диаметральной плоскостью судна (здесь и далее – по направлению «корма – нос»). Курс измеряется в круговой системе счета  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

**Истинный пеленг** – это угол в плоскости истинного горизонта между северной частью истинного меридиана наблюдателя и направлением на

ориентир (судно, объект). Пеленг измеряется в круговой системе счета направлений от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

К истинному направлению относится также путевой угол, представляющий собой угол между северной частью истинного меридиана и направлением фактического перемещения судна в условиях воздействия внешних факторов (ветра и течения).

**Круговой угол** – это угол между диаметральной плоскостью судна и направлением на ориентир (судно, объект). Измеряется, как правило, в полукруговой системе счета направлений от  $0^\circ$  до  $180^\circ$  правого и левого борта.

Иногда круговой угол измеряют в круговой системе счета направлений от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  по часовой стрелке от диаметральной плоскости судна, называя при этом курсовой угол относительным пеленгом.

Взаимосвязь между истинным пеленгом, курсом и курсовым углом выражается формулой  $ИП = ИК + КУ$ , при этом курсовой угол имеет знак «+» или «-» («+» при КУ пр.б., «-» при КУ л.б.).

Если при расчете кругового угла по формуле  $КУ = ИП - ИК$  его значение превышает  $180^\circ$ , то величина угла принимается равной дополнению до  $360^\circ$ , а его наименование меняется на противоположное.

Истинный пеленг может быть прямым или обратным (ОИП). Прямой истинный пеленг соответствует направлению судна на ориентир (судно, объект), обратный – противоположному направлению. Разность между прямым и обратным истинным пеленгом составляет  $180^\circ$ , фактически это одна и та же линия.

Если курсовой угол на ориентир (судно, объект) составляет  $90^\circ$ , то такое направление относительно диаметральной плоскости судна называется траверзным.

Положение судна на поверхности Мирового океана или иных объектов на земной поверхности определяется двумя координатами. В судовождении используются географическая, квазигеографическая, прямоугольная и полярная система координат. Квазигеографическая система координат

используется для составления карт для районов высоких широт (приполюсных районов), прямоугольная – для составления топографических карт. Остановимся на географической и полярной системах координат.

**Географическая система координат** – основная система, применяемая в судождении. Координатными плоскостями этой системы являются гринвичский меридиан и экватор, координатными линиями – параллели и меридианы, координатными – широта и долгота.

**Географической широтой  $f$**  называется угол между вертикальной (отвесной) линией в месте наблюдателя и плоскостью экватора. Широта измеряется дугой меридиана от экватора до параллели данной точки, имеет пределы изменений  $0^\circ - 90^\circ$  и наименования N или S. Плоскость экватора, таким образом, делит земной шар на два полушария – северное и южное.

**Географической долготой  $\lambda$**  называется двугранный угол между плоскостью гринвичского меридиана и плоскостью истинного меридиана наблюдателя. Долгота измеряется дугой экватора от нулевого (гринвичского) меридиана до меридиана данной точки, имеет пределы изменений  $0^\circ - 180^\circ$  и наименования E и W. Следовательно, гринвичский меридиан делит земной шар на два полушария – восточное и западное.

**В полярной системе координат** положение точки на земной поверхности или на карте определяется по истинному пеленгу и расстоянию относительно другой точки, географические координаты которой известны. Полярные координаты используются, например, для назначения точки постановки судна на якорь по пеленгу и дистанции относительно береговой радиолокационной станции.

Перемещение судна на поверхности мирового океана сопровождается изменением координат в любой координатной системе. В штурманской практике чаще всего используется географическая система координат – широта и долгота. Их изменения (приращения) – это разности широт и разности долгот.

**Разностью широт** (РШ) называют дугу меридиана, заключенную между параллелями  $f_2$  точки прихода и  $f_1$  точки отхода и определяемую по формуле  $РШ = f_2 - f_1$ .

Разность широт изменяется в пределах  $0^\circ - 180^\circ$  и имеет наименования «к N» или «к S», которым соответствуют знаки «+» или «-».

**Разностью долгот** (РД) называют наименьшую дугу экватора, заключенную между меридианами  $\lambda_2$  точки прихода и  $\lambda_1$  точки отхода и рассчитываемую по формуле  $РД = \lambda_2 - \lambda_1$ .

Разность долгот изменяется в пределах  $0^\circ - 180^\circ$  и имеет наименования «к E» или «к W» (соответственно – знаки «+» или «-»).

Наименования разности широт и разности долгот легко определить по морской навигационной карте, оценивая направление движения судна. Значения РШ и РД рассчитывают «по-штурмански», «столбиком» по приведенным выше алгебраическим формулам.

Если при расчетах РД превысила  $180^\circ$ , то необходимо взять ее дополнение до  $360^\circ$  и изменить наименование разности долгот.

### **Контрольные вопросы:**

- какая взаимосвязь между истинным пеленгом, курсом и курсовым углом;
- дайте определение понятию «истинный пеленг»;
- сколькими координатами определяется положение судна на поверхности Мирового океана.

### **Домашнее задание**

**Задание №15.**Подготовиться к устному опросу по теме «Форма и размеры Земли»:

- какие два понятия в судовождении определяет географическая система счета направлений;
- дайте определение понятиям «истинный курс», «истинный пеленг» и «курсовой угол»;

- перечислите используемые в судовождении системы координат;
- что называют разностью широт.

## Урок №14

Теоретический материал

**Земная ось** – воображаемая линия, вокруг которой происходит суточное вращение Земли. Эта ось совпадает с малой осью земного референц-эллипсоида.

Земная ось пересекает поверхность Земли в двух точках, называемых географическими полюсами ( $P_N$  и  $P_S$ ). Полюс, со стороны которого вращение Земли усматривается против часовой стрелки, называют северным, его антипод – южным географическим полюсом. Географические полюса называют также истинными.

При пересечении сфероид плоскостями, перпендикулярными оси вращения Земли, на ее поверхности образуются окружности, называемые параллелями. Самой большой параллелью является экватор – параллель, плоскость которой проходит через центр Земли. Следует отметить, что любая плоскость, проходящая через центр земного шара, на его поверхности образует условную линию, называемую дугой большого круга. Если плоскость не проходит через центр Земли, то эта условная линия является дугой малого круга. Следовательно, в семействе параллелей экватор является дугой большого круга, остальные параллели представляют собой дуги малого круга.

При пересечении Земли плоскостями, проходящими через земную ось, на поверхности земного сфероид образуются «следы», называемые географическими или истинными меридианами, из множества которых следует выделить два – гринвичский (нулевой) меридиан и меридиан наблюдателя. Гринвичский меридиан получил название от Гринвичской обсерватории, расположенной в пригороде Лондона. Меридиан, проходящий через место наблюдателя, называется истинным меридианом наблюдателя.

**Вертикальная или отвесная линия** – это прямая, совпадающая с направлением силы тяжести в данной точке или прямая, перпендикулярная поверхности Земли и направленная в ее центр.

**Зенит наблюдателя** – точка пересечения отвесной линии с воображаемой небесной сферой. Противоположная точка называется надиром.

**Плоскость истинного горизонта наблюдателя** – это горизонтальная плоскость, проходящая через место наблюдателя перпендикулярного отвесной линии.

**Полуденная линия** – воображаемая линия на плоскости истинного горизонта наблюдателя, образованная в результате ее пересечения с истинным меридианом наблюдателя. Эта линия соответствует направлению «север-юг» в месте наблюдателя (линия N–S).

**Вертикальные плоскости** – это плоскости, которые проходят через отвесную линию. Плоскость первого вертикала, перпендикулярная плоскости истинного меридиана наблюдателя, образует на плоскости истинного горизонта наблюдателя воображаемую линию «восток-запад» (линия E–W). Линии N–S и E–W представляют собой главные направления (румбы).

### **Задания на уроке**

#### **Практическая работа №5**

1. Изобразите Землю в виде сферы (шара) и отобразите основные точки, линии и плоскости: земную ось, вертикальную или отвесную линию, зенит, надир, плоскость истинного горизонта наблюдателя, полуденную линию, вертикальные плоскости.

2. Рассчитайте полярное сжатие референц-эллипсоида:

- Ф.Н. Красовского с параметрами большой полуоси  $a = 6\,378\,245$  м и малой полуоси  $b = 6\,356\,863$  м;

- Модели WGS-84 с параметрами большой полуоси  $a = 6\,356\,863$  м и малой полуоси  $b = 6\,356\,863$  м.

### **Домашнее задание**

Задание №16. Подготовиться к устному опросу по теме «Форма и размеры Земли»:

- какие параметры имеет референц-эллипсоид Ф.Н. Красовского?
- для решения каких задач используется международный общеземной усредненный референц-эллипсоид?
- сколько метров составляет радиус земной сферы?

## Урок №15

Теоретический материал

**Истинный курс** – это угол в плоскости горизонта между северной частью истинного меридиана наблюдателя и диаметральной плоскостью судна (здесь и далее – по направлению «корма – нос»). Курс измеряется в круговой системе счета  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

**Истинный пеленг** – это угол в плоскости истинного горизонта между северной частью истинного меридиана наблюдателя и направлением на ориентир (судно, объект). Пеленг измеряется в круговой системе счета направлений от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

К истинному направлению относится также путевой угол, представляющий собой угол между северной частью истинного меридиана и направлением фактического перемещения судна в условиях воздействия внешних факторов (ветра и течения).

**Круговой угол** – это угол между диаметральной плоскостью судна и направлением на ориентир (судно, объект). Измеряется, как правило, в полукруговой системе счета направлений от  $0^\circ$  до  $180^\circ$  правого и левого борта.

Иногда круговой угол измеряют в круговой системе счета направлений от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  по часовой стрелке от диаметральной плоскости судна, называя при этом курсовой угол относительным пеленгом.

Взаимосвязь между истинным пеленгом, курсом и курсовым углом выражается формулой  $ИП = ИК + КУ$ , при этом курсовой угол имеет знак «+» или «-» («+» при КУ пр.б., «-» при КУ л.б.).



Если при расчете кругового угла по формуле  $KУ = ИП - ИК$  его значение превышает  $180^\circ$ , то величина угла принимается равной дополнению до  $360^\circ$ , а его наименование меняется на противоположное.

Истинный пеленг может быть прямым или обратным (ОИП). Прямой истинный пеленг соответствует направлению судна на ориентир (судно, объект), обратный – противоположному направлению. Разность между прямым и обратным истинным пеленгом составляет  $180^\circ$ , фактически это одна и та же линия.

Если курсовой угол на ориентир (судно, объект) составляет  $90^\circ$ , то такое направление относительно диаметральной плоскости судна называется траверзным.

Положение судна на поверхности Мирового океана или иных объектов на земной поверхности определяется двумя координатами. В судовождении используются географическая, квазигеографическая, прямоугольная и полярная система координат. Квазигеографическая система координат используется для составления карт для районов высоких широт (приполюсных районов), прямоугольная – для составления топографических карт. Остановимся на географической и полярной системах координат.

### **Задания на уроке**

#### **Практическая работа №6**

1. Определите ИП на ориентир, если ИК яхты равен  $65^\circ$ , а КУ составляет  $30^\circ$  пр.б.
2. Определите ИП, если ИК =  $30^\circ$ , КУ =  $125^\circ$  л.б.
3. Определите КУ, если ИК =  $170^\circ$ , ИП =  $45^\circ$ .
4. Определите траверзное направление (пеленг) на маяк, если ИК =  $100^\circ$ , а маяк находится с левого борта.
5. Определить истинный пеленг траверза, если ИК =  $340^\circ$ , а маяк находится с правого борта.

### **Домашнее задание**

Задание №17. Подготовиться к устному опросу по теме «Форма и размеры Земли»:

- чему соответствует прямой истинный пеленг?
- какое направление называется траверзным?
- какие системы координат используются в судовождении?

## **Тема №9. «Морская навигация. Определение направления в море»**

### **Урок №16**

Теоретический материал

**Морская навигация** – раздел навигации, изучающий судовождение, разрабатывающий теоретические обоснования и практические приемы вождения судов.

#### **Морские меры длины и скорости**

В качестве длины в морской навигации принята миля, соответствующая одной минуте меридиана и равна 1852,3 м. Одна десятая часть мили называется кабельтовым, равным 185 м.

За единицу скорости принят узел, равный одной миле в час. Если скорость судна равна 12 узлам, то оно проходит в течение часа 12 миль. Понятие «узел» пришло к нам из эпохи парусного флота. Скорость судна измерялась по длине вытравленного за борт лаглиня, разделенного узелками на части, равные 1/120 мили, и соответствовала количеству узелков, «ушедших за борт» в течение 30 с. Лаглинь – тонкий корабельный трос, на котором опускают лаг.

Иногда необходимо скорость судна в узлах перевести в скорость кабельтовых в минуту. Такой перевод выполняется по формуле:

$$V_{\text{каб/мин}} = V_{\text{уз}}/6.$$

При расчетах, связанных со скоростью ветра, используется единица скорости м/с. 1 м/с = 2 уз; 1 уз = 0,5 м/с.

В США, Великобритании и некоторых других странах используются следующие единицы длины:

- дюйм – 2,54 см, применяется для обозначения габаритов электронных средств навигации;
- фут – 30,48 см, применяется для обозначения высот, малых глубин и осадки судна;
- ярд – 91,44 см (3 фута), применяется для измерения небольших расстояний;
- сажень – 1,828 м (6 футов), применяется для обозначения глубин.

### **Дальности видимости горизонта и навигационных ориентиров**

С борта судна судоводитель видит определенную акваторию, ограниченную окружностью видимого горизонта. Радиус этой окружности называется **дальностью видимости горизонта**, которая может быть рассчитана в милях по формуле:

$$D_r = 2,08\sqrt{e}.$$

где  $e$  – высота глаза наблюдателя, м.

Для экипажа судна дальность видимости горизонта ограничена из-за небольшой высоты глаза наблюдателя. Если эта высота равна 2 м, то дальность видимости горизонта составляет около 3 миль, при высоте 3 м – 3,6 мили.

Коэффициент 2,08 рассчитан для нормальных условий видимости. Например, когда слой теплого воздуха находится над относительно холодной поверхностью воды, зрительный луч способен в большей степени огибать земную поверхность, тогда дальность видимости горизонта увеличивается. В условиях, когда слой холодного воздуха проходит над относительно теплой поверхностью воды, на некоторой высоте плотность воздуха значительно увеличивается, из-за чего зрительный луч изгибается в сторону водной поверхности и дальность видимости горизонта уменьшается.

**Дальность видимости навигационных ориентиров** зависит от их высоты, а также от высоты глаза наблюдателя. Эта дальность может быть определена двумя способами:

- по высоте навигационного ориентира, которая может быть получена по формуле:

$$D = 2,08(\sqrt{e} + \sqrt{h}).$$

где  $h$  – высота ориентира, м;

- по дальности видимости навигационного ориентира с высоты глаза наблюдателя 5 м, приведенной на морской навигационной карте ( $D_k$ ), по формулам в милях:

$$D = D_k + \Delta D; \Delta D = 2,08\sqrt{e} - 2,08\sqrt{5} = 2,08\sqrt{e} - 4,7.$$

Для яхты поправка  $\Delta D$  имеет отрицательное значение и составляет при высоте глаза наблюдателя 2 м – 1,7 мили, при высоте глаза наблюдателя 3 м – 1,1 мили.

Приведенные формулы дальности видимости навигационных ориентиров позволяют рассчитать **географическую** или **геометрическую** дальность. Также существует понятие **оптической дальности** видимости навигационного ориентира. Эта дальность в дневное время зависит от контраста между наблюдаемым объектом и фоном местности, в ночное время – от силы света навигационного ориентира и метеорологической видимости.

При расчете географической дальности прозрачность атмосферы не учитывалась, принималась равной 1. В реальных условиях прозрачность атмосферы всегда меньше 1. Значит, географическая дальность – теоретический максимум, которого в действительности дальность видимости навигационных ориентиров не достигает, за исключением редких случаев.

#### **Контрольные вопросы:**

- дайте определение понятию «морская навигация»;
- какие единицы длины используются в США, Великобритании;
- как температура воды и воздуха влияет на дальность видимость горизонта.

#### **Домашнее задание**

Задание №18.Подготовиться к устному опросу по теме «Морская навигация. Определение направления в море»:

- сформулируйте определение понятия «морская навигация»;
- что принято в качестве единицы длины в морской навигации;
- назовите два способа, с помощью которых можно определить дальность видимости навигационных ориентиров.

## Урок №17

Теоретический материал

Основным условием безопасности плавания судна является безошибочное определение направления его движения относительно заданной линии пути и направлений на навигационные опасности.

Основой для определения направлений движения судна и на окружающие объекты являются главные направления: север (С), юг (Ю), запад (З), восток (В).

В судовождении традиционно за начало счета направлений принимают или северную или южную часть линии истинного меридиана. Определение направлений относительно полуденной линии производится по различным системам счета в зависимости от характера решаемых навигационных задач с точностью до 0,1 секунды.

Для определения направления в плоскости истинного горизонта используются **три системы деления горизонта**: круговая, полукруговая и четвертная.

### **Круговая система счета направлений**

В круговой системе за начало счета направлений принята северная часть линии истинного меридиана. В этой системе вся плоскость истинного горизонта разделена на  $360^\circ$ . Счет направлений ведется от северной части истинного меридиана по часовой стрелке от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . Отрицательных значений нет. Форма записи:  $57,7^\circ$ .

В навигации круговая система счета направлений является основной и применяется для определения направления движения судна, а также направлений на видимые с судна объекты.

### **Полукруговая система счета направлений**

В полукруговой системе плоскость истинного горизонта линией СЮ разделена на две части по  $180^\circ$  каждая. За начало счета направлений ( $0^\circ$ ) принимают как северную (С) часть, так и южную (Ю) часть линии истинного меридиана. Во всех случаях ведут к востоку (В) или западу (З) от  $0^\circ$  до  $180^\circ$ .

### **Четвертная система счета направлений**

В четвертной системе плоскость истинного горизонта линиями СЮ и ВЗ делится на четыре четверти: СВ, ЮВ, ЮЗ и СЗ.

За начало счета направлений ( $0^\circ$ ) принимают северную (С) или южную (Ю) часть истинного меридиана. Счет ведут от С или Ю в сторону В или З от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  в каждой четверти:

- в СВ четверти от С к В (по часовой стрелке) от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ ;
- в ЮВ четверти от Ю к В (против часовой стрелки) от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ ;
- в ЮЗ четверти от Ю к З (по часовой стрелке) от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ ;
- в СЗ четверти от С к З (против часовой стрелки) от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ .

Для исключения многозначности при записи четвертных направлений указывают наименование четверти, в которой это направление расположено. Форма записи: СВ $50,1^\circ$ ; ЮЗ $40,3^\circ$ ; СЗ $86,5^\circ$ ; ЮВ $60,0^\circ$ .

### **Приборы для выработки и измерения направлений в море**

**Магнитный компас** используется для определения направлений. По компасу назначается и удерживается курс судна, берутся пеленги на маяки и другие предметы, определяются круговые углы, направление ветра и течения. Компас используется при плавании в море, крупных озерах и водохранилищах. Без компаса невозможно удерживать правильное направление движения судна во время плохой видимости и при потере видимости береговых ориентиров.

Магнитный компас работает на свойстве намагниченной стрелки, которая располагается осью в плоскости магнитного меридиана, причем один конец стрелки всегда обращен в сторону северного полюса.

**Гироскопический компас** (гироскопас) – компас, указывающий направления в море и работающий независимо от сил земного магнетизма и магнитного поля на судне.

Принцип действия гироскопаса основан на использовании следующих свойств быстро вращающегося тела гироскопа:

- ось быстро вращающегося ротора гироскопа сохраняет неизменным заданное в начальный момент направление;
- под действием внешней силы, приложенной к гироскопу (подвешивается груз) главная ось поворачивается перпендикулярно к направлению действия силы, что и используется для превращения гироскопа в гироскопас.

На работу гироскопаса оказывают влияние: скорость судна, маневрирование, качка, широта места и т.д. Часть этих погрешностей устраняется при помощи специальных устройств, часть учитывается поправкой гироскопаса. Работа гироскопаса постоянно контролируется путем сличения курсов с магнитным компасом.

Гироскопас имеет ряд **преимуществ** перед магнитным компасом: большая устойчивость на меридиане; отсутствие влияния на компас магнитного склонения и судовой девиации, возможность использовать в различных помещениях судна дублирующие показания компаса приборов.

**Недостатки:** сложность конструкции и потребность в электрическом токе.

#### **Контрольные вопросы:**

- что принято за начало счета направлений в круговой системе;
- какая система счета направлений в навигации является основной;
- назовите приборы для выработки и измерения направлений в море;

- где используется магнитный компас.

### Домашнее задание

Задание №19. Подготовиться к устному опросу по теме «Морская навигация. Определение направления в море»:

- опишите кратко каждую систему счета направлений;
- сформулируйте принцип действия магнитного и гироскопического компасов;
- перечислите преимущества и недостатки гироскопического компаса.

### Урок №18

Теоретический материал

#### **Дальности видимости горизонта и навигационных ориентиров**

С борта судна судоводитель видит определенную акваторию, ограниченную окружностью видимого горизонта. Радиус этой окружности называется **дальностью видимости горизонта**, которая может быть рассчитана в милях по формуле:

$$D_r = 2,08\sqrt{e}.$$

где  $e$  – высота глаза наблюдателя, м.

Для экипажа судна дальность видимости горизонта ограничена из-за небольшой высоты глаза наблюдателя. Если эта высота равна 2 м, то дальность видимости горизонта составляет около 3 миль, при высоте 3 м – 3,6 мили.

Коэффициент 2,08 рассчитан для нормальных условий видимости. Например, когда слой теплого воздуха находится над относительно холодной поверхностью воды, зрительный луч способен в большей степени огибать земную поверхность, тогда дальность видимости горизонта увеличивается. В условиях, когда слой холодного воздуха проходит над относительно теплой поверхностью воды, на некоторой высоте плотность воздуха значительно увеличивается, из-за чего зрительный луч изгибается в сторону водной поверхности и дальность видимости горизонта уменьшается.



**Дальность видимости навигационных ориентиров** зависит от их высоты, а также от высоты глаза наблюдателя. Эта дальность может быть определена двумя способами:

- по высоте навигационного ориентира, которая может быть получена по формуле:

$$D = 2,08(\sqrt{e} + \sqrt{h}).$$

где  $h$  – высота ориентира, м;

- по дальности видимости навигационного ориентира с высоты глаза наблюдателя 5 м, приведенной на морской навигационной карте ( $D_k$ ), по формулам в милях:

$$D = D_k + \Delta D; \Delta D = 2,08\sqrt{e} - 2,08\sqrt{5} = 2,08\sqrt{e} - 4,7.$$

Для яхты поправка  $\Delta D$  имеет отрицательное значение и составляет при высоте глаза наблюдателя 2 м – 1,7 мили, при высоте глаза наблюдателя 3 м – 1,1 мили.

### **Задания на уроке**

#### **Практическая работа №7**

1. Рассчитать дальность видимости горизонта, если высота глаза наблюдателя на яхте составляет 3,5 м.
2. Определить дальности видимости (открытия или закрытия) маяка, если его высота над уровнем моря составляет 75 м, а его высота глаза наблюдателя – 3 м.
3. Рассчитать, на каком расстоянии откроется маяк, если на карте указана его дальность видимость 17,8 мили, а высота глаза наблюдателя на шлюпке 1 м.

### **Домашнее задание**

Задание №20. Подготовиться к устному опросу по теме «Морская навигация. Определение направления в море»:

- от чего зависит дальность видимости навигационных ориентиров?
- при каких условиях дальность видимости горизонта увеличивается?

- от чего зависит оптическая дальность в дневное и ночное время?

## Урок №19

Теоретический материал

**Разностью широт** (РШ) называют дугу меридиана, заключенную между параллелями  $f_2$  точки прихода и  $f_1$  точки отхода и определяемую по формуле  $РШ = f_2 - f_1$ .

Разность широт изменяется в пределах  $0^\circ - 180^\circ$  и имеет наименования «к N» или «к S», которым соответствуют знаки «+» или «-».

**Разностью долгот** (РД) называют наименьшую дугу экватора, заключенную между меридианами  $\lambda_2$  точки прихода и  $\lambda_1$  точки отхода и рассчитываемую по формуле  $РД = \lambda_2 - \lambda_1$ .

Разность долгот изменяется в пределах  $0^\circ - 180^\circ$  и имеет наименования «к E» или «к W» (соответственно – знаки «+» или «-»).

Наименования разности широт и разности долгот легко определить по морской навигационной карте, оценивая направление движения судна. Значения РШ и РД рассчитывают «по-штурмански», «столбиком» по приведенным выше алгебраическим формулам.

Если при расчетах РД превысила  $180^\circ$ , то необходимо взять ее дополнение до  $360^\circ$  и изменить наименование разности долгот.

### Задания на уроке

#### Практическая работа №8

1. Судно вышло из пункта с координатами  $\varphi_1 = 59^\circ 54,8'N$ ;  $\lambda_1 = 29^\circ 27,8'E$  и прибыло в пункт с координатами  $\varphi_2 = 56^\circ 32,7'N$ ;  $\lambda_2 = 16^\circ 37,6'E$ . Определить РШ и РД.

2. Судно совершило переход из точки с координатами  $\varphi_1 = 15^\circ 27,4'S$ ;  $\lambda_1 = 168^\circ 57,4'W$  в точку с координатами  $\varphi_2 = 32^\circ 51,2'N$ ;  $\lambda_2 = 148^\circ 28,8'E$ . Определить РШ и РД.

3. Привести магнитное склонение к 2004 году, если указанное на карте магнитное склонение на 1987 г. составляет  $8,5^{\circ} W$ , а его годовое изменение равно  $0,02^{\circ}$  к Е.

4. Указанное на карте магнитное склонение на 1990 г. составляет  $9,8^{\circ} E$ , а его годовое увеличение равно  $0,1^{\circ}$ . Привести магнитное склонение к 2005 г.

### **Домашнее задание**

Задание №21. Подготовиться к устному опросу по теме «Морская навигация. Определение направления в море»:

- в каких пределах изменяется разность широт?
- чем измеряется географическая широта?
- чем измеряется географическая долгота?

### **Тема №10. «Аэронавигация. Системы посадки по приборам»**

#### **Урок №20**

Теоретический материал

**Аэронавигация** – управление траекторией движения воздушного судна (ВС), осуществляемое экипажем в полете.

Под управлением понимается приведение объекта управления в желаемое положение, состояние и т.п. В навигации воздушное судно рассматривается как точка, перемещающаяся в пространстве и описывающая при этом линию – траекторию полета. Экипаж в полете управляет как движением этой точки, то есть ее перемещением в пространстве, так и траекторией в целом – ее формой, длиной и т.п. Цели управления могут быть разными, например, в гражданской и военной авиации. Для гражданских ВС необходимо добиться более близкого совпадения фактической траектории с заданной, для военных самолетов заданной траектории может не быть вообще, а основной задачей будет являться, например, точный выход на цель в заданное время.

Траектория в данном определении понимается пространственно-временная траектория, то есть линия, на которой каждая точка соответствует

определенному моменту времени. Это дает возможность отнести к навигационным задачам такие традиционные задачи, как обеспечение выхода в заданную точку в назначенное время, обеспечение полета по расписанию и т.д.

Определяя понятие аэронавигации, недостаточно говорить об управлении ВС как точкой, так как есть ряд задач, традиционно навигационных, штурманских, касающихся именно траектории, поскольку траектория в целом имеет и другие свойства, не присущие отдельной ее точке. Например, длина траектории, израсходованное за время полета топливо зависят от всей траектории, являются ее функционалами. Поэтому решаемая штурманом задача выбора наилучшей с точки зрения расхода топлива траектории является навигационной задачей.

Осуществляет управление движением ВС его летный экипаж. Он осуществляет навигацию с широким использованием различных технических средств. Эти средства снимают с экипажа значительную часть его нагрузки, а на наиболее совершенных ВС оставляют за человеком лишь функции контроля и принятия решений при непредвиденных ситуациях.

**Требования к аэронавигации.** Целью полета гражданского ВС является, как правило, перевозка пассажиров или груза, из одного пункта в другой, либо выполнение определенного вида работ (строительно-монтажных, аэросъемки, поисково-спасательных операций и т.д.). При осуществлении этих целей к аэронавигации предъявляются определенные требования.

1. **Безопасность аэронавигации.** Это основное требование. Так как не должно существовать угрозы жизни экипажа и пассажиров во время полета ВС до пункта назначения.
2. **Точность.** Это требование важно для гражданских ВС, поскольку они выполняют полеты по заданным траекториям. Точность аэронавигации – степень приближения фактической траектории к заданной. От точности зависит и безопасность, и экономичность полета. Поскольку заданные траектории строят так, чтобы они были

безопасными (не пересекались с препятствиями, другими траекториями), то чем точнее их выдерживает ВС, тем меньше риск. С другой стороны, заданные траектории устанавливаются по возможности более короткими. Следовательно, чем точнее выполняется полет, тем короче траектория и меньше время полета.

3. **Экономичность.** Чем меньше время полета, тем меньше себестоимость полета, включающая в себя все сопутствующие затраты – от заработной платы персонала до стоимости израсходованного топлива.
4. **Регулярность.** Полеты в общем случае должны выполняться по расписанию. Задержка с вылетом или прилетом не только приносит неудобства пассажирам, но может повлечь и значительные экономические потери. Так, на аэродромах с высокой интенсивностью движения опоздание с прибытием в контрольную точку начала захода на посадку может привести к тому, что ВС отправят в зону ожидания, где оно будет ждать освобождения временного «окна» для захода на посадку, расходуя понапрасну топливо.

**Основные задачи аэронавигации.** Процесс аэронавигации включает в себя решение трех основных задач:

- формирование (выбор) заданной траектории;
- определение местоположения ВС в пространстве и параметров его движения;
- формирование навигационного решения (управляющих воздействий для вывода ВС на заданную траекторию).

Формирование заданной траектории начинается до полета, обычно задолго до него, когда устанавливается сеть воздушных трасс, заданных высот. Формирование траектории может происходить и во время полета, когда диспетчер или сам экипаж выбирает, в какую точку или по какой линии пути должно следовать ВС. Выбранная траектория должна быть и безопасной и

экономичной, не должна пересекаться с наземными препятствиями и должна быть по возможности короче.

Определение местоположения ВС в пространстве – одна из основных и важнейших составляющих навигации. Также помимо координат необходимо знать параметры движения ВС, то есть скорость и направление перемещения ВС, а иногда его ускорения – без этого невозможно выдержать заданную траекторию.

После того, как местоположение ВС определено и выяснилось, что оно не находится на заданной траектории, необходимо определить величину отклонения и принять навигационное решение: каким именно образом должна быть изменена фактическая траектория полета, чтобы ВС вышло на заданную траекторию.

На ВС, на которых процесс аэронавигации в той или иной степени автоматизирован, определение местоположения ВС, вывод на заданную траекторию могут осуществляться автоматически. Навигационным решением штурмана является выбранный режим автоматической работы бортового оборудования. Режимов работы может быть несколько в зависимости от того, по техническим средствам какого вида определяются координаты и параметры движения ВС.

#### **Контрольные вопросы:**

- сформулируйте определение понятия «траектория» с точки зрения аэронавигации;
- назовите основные задачи аэронавигации;
- когда формируется траектория полета воздушного судна;
- какие параметры движения воздушного судна необходимо знать, чтобы выдержать заданную траекторию.

#### **Домашнее задание**

Задание №22. Подготовиться к устному опросу по теме «Аэронавигация. Системы посадки по приборам»:

- дайте определение понятию «аэронавигация»;
- как осуществляется управление движением воздушного судна;
- перечислите требования к аэронавигации.

## Урок №21

### Теоретический материал

Заключительным этапом любого полета является заход на посадку и посадка, которые с точки зрения безопасности считаются наиболее сложными и ответственными. Сложность обусловлена тем, что пилотирование ВС ведется в условиях значительного изменения высоты, скорости полета и частых разворотов, а также высокими требованиями к выдерживанию заданного маневра снижения и захода на посадку. Поскольку с повышением регулярности полетов экипажам ВС все чаще приходится выполнять заход на посадку в сложных метеоусловиях, принимаются меры по оборудованию аэродромов современными системами посадки. На ВС устанавливают специальное оборудование, позволяющее выполнять полуавтоматический и автоматический заход на посадку. Для поддержания требуемого уровня профессиональной подготовки пилоты систематически проходят тренировки на тренажерах, а также в реальных сложных погодных условиях.

Посадка ВС на аэродроме производится на взлетно-посадочной полосе (ВПП), имеющую в основном два направления захода на посадку. Обычно посадку выполняют при встречном и встречно-боковом ветре. При этом для каждого типа ВС боковая составляющая ветра не должна превышать предельного значения.

Курс, соответствующий рабочему направлению взлетно-посадочной полосе, называется посадочным. Заход на посадку выполняют по установленной для данного аэродрома схеме. Заключительная часть этой схемы от точки выхода из четвертого разворота до точки приземления

называется предпосадочной прямой. Она устанавливается такой длины, чтобы обеспечивалось безопасное снижение ВС с высоты круга полетов над аэродромом до его приземления.

В настоящее время применяют три типа систем посадки: радиотехническую (ОСП), радиомаячную (РМС), радиолокационную (РСП).

Наземное и бортовое оборудование системы посадки обеспечивает вывод ВС на аэродром, полет по установленной схеме захода и снижение по заданной траектории. Каждый аэродром оборудуется дальней ДПРМ и ближней БПРМ приводными радиостанциями с радиокамерами, а также светосигнальными системами, огни которых облегчают взлет, посадку и руление ВС. ДПРМ – основная радионавигационная точка аэродрома. Радиосветотехнические средства обеспечения полетов на аэродромах размещают по утвержденным типовым схемам с учетом особенностей данного аэродрома.

Основная задача любой системы посадки – обеспечение вывода ВС на линию курса и глиссаду снижения. При использовании посадочных систем под линией курса понимается горизонтальная линия, проходящая через продольную ось взлетно-посадочной полосы. Глиссадой снижения называется траектория снижения ВС в вертикальной плоскости при заходе на посадку. За траекторию снижения принимается линия движения нижней точки шасси. Выход на линию заданного посадочного курса и полет по ней при заходе на посадку по системе ОСП выполняют по ДПРМ, а после его полета – по БПРМ. При заходе на посадку по РМС на указанную линию выходят по радиосигналам курсового радиомаяка (КРМ).

Для системы ОСП устанавливается расчетная глиссада, а для РМС – радиотехническая, которая задается с помощью глиссадного радиомаяка (ГРМ). Положение ВС относительно расчетной глиссады контролируют обычно только в двух точках при полете ДПРМ и БПРМ. При заходе на посадку по РМС информация о положении ВС относительно радиоглиссады выдается непрерывно на специальный указатель.



Для обеспечения безопасной высоты пролета препятствий, расположенных в секторе захода на посадку, для каждого направления захода на посадку устанавливается определенный угол наклона глиссады (УНГ). Поскольку зоны учета препятствий при заходе на посадку по системам ОСП и РМС имеют различные размеры, УНГ для указанных систем может быть неодинаковым.

Для аэродромов установлены посадочные минимумы трех категорий, характеризующиеся высотой принятия решения ВПР, которая соответствует высоте нижней границы облаков (ВНГО) и дальности видимости на ВПП. Минимум первой категории предусматривает заход на посадку до ВПР 60 м, при дальности видимости на ВПП 800 м; минимум второй категории: ВПР менее 60 м, но не менее 30 м, видимость на ВПП менее 800 м, но не менее 400 м; минимум третьей категории: ВПР менее 30 м, видимость на ВПП менее 400 м. Таким образом, минимум аэродрома для посадки отражает минимально допустимые значения ВПР и видимости на ВПП, при которых разрешается выполнять посадку на ВС данного типа.

Высота принятия решения (ВПР) – установленная относительная высота, на которой должен начат маневр ухода на второй круг в тех случаях, если до достижения этой высоты командиром ВС не был установлен необходимый визуальный контакт с ориентирами для продолжения захода на посадку или положение ВС в пространстве, или параметры его движения не обеспечивают безопасности посадки. ВПР принято отсчитывать от уровня порога ВПП по барометрическому высотомеру, который установлен на атмосферное давление аэродрома посадки. Под необходимым визуальным контактом с ориентирами подразумевается контакт с наземными ориентирами зоны захода на посадку или ВПП, которые командир ВС должен видеть в течение времени, достаточно для оценки положения ВС, и скорости изменения его положения относительно заданной траектории полета.

#### **Контрольные вопросы:**

- перечислите три типа систем посадки;

- какими приборами оборудован аэродром;
- дайте определение понятию «глиссада».

### Домашнее задание

Задание №23. Подготовиться к устному опросу по теме «Аэронавигация. Системы посадки по приборам»:

- сформулируйте основную задачу системы посадки;
- какая глиссада устанавливается для радиотехнической и радиомаячной систем;
- опишите посадочные минимумы трех категорий.

### Урок №22

Теоретический материал

**Высотой полета** называется расстояние по вертикали от самолета до земной поверхности. В практике самолетовождения в зависимости от уровня местности, над которой пролетает самолет, различают следующие высоты полета: барометрическую, условную барометрическую, относительную, истинную и абсолютную.

**Барометрической высотой** ( $H_б$ ) называется показание высотомера высоте полета самолета, барометрическая шкала которого установлена на атмосферное давление аэродрома вылета или посадки. Барометрическая высота рассчитывается по формуле:

$$H_б = H_{пр} + (\pm \Delta H),$$

где  $H_{пр}$  – показание высотомера на высоте полета, м;

$\Delta H$  – инструментальная поправка высотомера, м.

**Условной барометрической высотой** ( $H_{760}$ ) называется показание высотомера на высоте полета самолета, барометрическая шкала которого установлена на давление 760 мм рт. ст.

**Относительной высотой** ( $H_0$ ) называется высота полета самолета относительно уровня аэродрома вылета.

**Истинной высотой ( $H_{и}$ )** называется высота полета самолета над уровнем пролетаемой местности. Вычисляется по формуле:

$$H_{и} = H_{о} - (\pm \Delta H_{р}),$$

где  $\Delta H_{р}$  – превышение или понижение пролетаемой местности относительно уровня аэродрома вылета, м;

$$\Delta H_{р} = H_{м} - H_{аэр},$$

где  $H_{м}$  – высота пролетаемой местности относительно уровня моря, м;

$H_{аэр}$  – высота аэродрома относительно уровня моря, м.

При полете самолета над местностью, которая не имеет превышения или понижения относительно аэродрома вылета, т.е.  $\Delta H_{р} = 0$ , истинная высота полета равна относительной:  $H_{и} = H_{о}$ .

**Абсолютной высотой ( $H_{абс}$ )** называется высота полета самолета относительно уровня моря.

$$H_{абс} = H_{о} + (\pm H_{аэр})$$

или

$$H_{абс} = H_{и} + (\pm H_{м}).$$

При взлете с поверхности моря и при полете над морем, если атмосферное давление над поверхностью моря постоянно, абсолютная, истинная и относительная высоты равны между собой т.е.

$$H_{абс} = H_{и} = H_{м}.$$

### **Задания на уроке**

#### **Практическая работа №9**

Решите задачи:

Задача №1.

Дано:  $H_{о} = 3000$  м.  $H_{аэр} = 280$  м.  $H_{м} = 830$  м. Определить  $H_{и}$ .

Задача 2.

Дано:  $H_{о} = 2500$  м.  $H_{аэр} = 310$  м. Определить  $H_{абс}$ .

### **Домашнее задание**

Задание №24.Подготовиться к устному опросу по теме «Аэронавигация.

Системы посадки по приборам»:

- какие высоты различают в зависимости от уровня местности?
- дайте определение условной барометрической высоты;
- какая высота называется абсолютной?

## Урок №23

Теоретический материал

**Безопасной высотой полета по маршруту** называется минимальная истинная допустимая высота, которая исключает возможность столкновения самолета и вертолета с земной или водной поверхностью и высокими искусственными наземными препятствиями. Безопасные высоты устанавливаются с учетом рельефа местности, искусственных наземных препятствий, погрешности показаний высотомера, а также возможных сильных восходящих и нисходящих потоков воздуха.

Безопасная высота по правилам полетов по приборам по маршруту должна быть не менее 400 м над равниной и холмистой местностью и водными пространствами и не менее 600 м при полетах над горами высотой до 2000 м, и 1000 м над горами высотой более 2000 м.

При полетах по маршруту категорически запрещается снижаться ниже установленной безопасной высоты полета.

Для обеспечения указанных истинных высот полета над наивысшей точкой рельефа местности по маршруту перед вылетом самолета по воздушной трассе для каждого этапа маршрута определяется безопасная высота полета.

Для определения безопасной высоты полета необходимо знать:

- наивысшую точку рельефа местности по маршруту в полосе по 25 км в обе стороны от линии заданного пути;
- максимальную высоту наземных препятствий;

- минимальное барометрическое давление по маршруту полета, приведенное к уровню моря.

В зависимости от условий полета расчет безопасной высоты определяется:

- по показаниям высотомера, барометрическая шкала которого установлена на делении, соответствующем 760 мм рт. ст.,

$$H_{\text{аэр.без}} = H_{\text{рел}} + H_{\text{и}} + 11(760 - P_{\text{прив.мин}}) - \Delta H_t,$$

где  $H_{\text{рел}}$  – максимальное превышение рельефа местности по маршруту полета над уровнем моря в полосе 25 км в обе стороны от линии заданного пути с учетом высоты наземных препятствий, м;

$H_{\text{и}}$  – установленная гарантийная минимальная истинная высота полета: 400 м при полетах над равниной и холмистой местностью, 600 м при полетах над горами высотой до 2000 м и 1000 м при полетах над горами более 2000 м, м;

$P_{\text{прив.мин}}$  – минимальное атмосферное давление на данном участке маршрута полета, приведенное к уровню моря, мм рт. ст.;

$\Delta H_t$  – методическая поправка на температуру на высоте полета, рассчитанная на НЛ-10, м;

- по показаниям высотомера, барометрическая шкала которого установлена на атмосферное давление аэродрома вылета,

$$H_{\text{аэр.без}} = H_{\text{и}} + \Delta H_{\text{рел}} - \Delta H_t,$$

где  $\Delta H_{\text{рел}}$  – поправка на топографический рельеф местности по маршруту полета относительно аэродрома вылета, определяемая по формуле:

$$\Delta H_{\text{рел}} = H_{\text{м}} + H_{\text{аэр.}}$$

$H_{\text{аэр.без}}$  рассчитывается при построении маневра захода самолета на посадку. Поправки на рельеф и высоту искусственных препятствий учитываются по максимальным величинам в полосе по 5 км от оси маршрута при визуальных полетах и по 10 км при полетах по приборам.

Для визуального полета ниже нижнего эшелона барометрическая шкала высотомера может устанавливаться на отсчет, равный минимальному атмосферному давлению на одном участке маршрута, приведенному к уровню моря. Безопасная высота для полетов ниже нижнего эшелона при этом рассчитывается по формуле:

$$H_{\text{прив.без}} = H_{\text{и}} + H_{\text{рел}} - \Delta H_t.$$

### **Задание на уроке**

#### **Практическая работа №10**

Решите задачу:

Наибольшее превышение местности над уровнем моря по маршруту полета в полосе по 25 км в обе стороны от линии заданного пути равно 320 м. Максимальная высота искусственных препятствий в районе полета равна 70 м. Минимальное барометрическое давление по маршруту полета, приведенное к уровню моря, составляет 740 мм рт. ст. Полет выполняется над равнинной местностью. Инструментальная поправка высотомера равна нулю. Определить безопасную высоту полета по показанию высотомера, барометрическая шкала которого установлена на делении, соответствующем 760 мм рт. ст.

### **Домашнее задание**

Задание №25.Подготовиться к устному опросу по теме «Аэронавигация. Системы посадки по приборам»:

- что называется безопасной высотой полета по маршруту?
- какие показатели необходимо знать для ее определения?
- по показаниям какого прибора определяется расчет безопасной высоты?

## **Тема №11. «Космическая и спутниковая навигация»**

### **Урок №24**

Теоретический материал

Космическая навигация — определение местоположения космических летательных аппаратов, либо определение местоположения некоторой точки на Земле с помощью искусственных спутников.

В первом случае навигационная задача заключается в определении местоположения летательного аппарата относительно других летательных аппаратов или космических тел и в прогнозировании движения летательного аппарата как материальной точки. Система космической навигации включает в себя как бортовые, так и внешние (находящиеся на другом космическом аппарате или теле) измерительные приборы и вычислительные средства. При этом космическая навигация может осуществляться в автоматическом режиме или с участием человека (космонавта или находящегося на другом космическом теле оператора).

В последнее время для определения местоположения могут также применяться спутниковые системы навигации, в частности GPS.

Во втором случае навигационная задача сводится к определению широты, долготы и высоты точки на Земле. Система навигации в данном случае состоит из группы искусственных спутников на орбите и устройства, способного принимать сигнал со спутников и обрабатывать полученные данные. Наибольшее распространение получила система навигации GPS. В данный момент идёт разработка европейской системы Галилео.

Спутниковые навигационные системы (СНС) обладают рядом преимуществ перед традиционными радиотехническими системами (РТС) навигации:

- высокая точность определения координат;
- большая высота полета спутников позволяет создать глобальную, то есть охватывающую весь земной шар, зону действия при использовании достаточно простых антенных устройств, как на спутнике, так и на ВС;

- нахождение спутника в пределах прямой видимости в любой точке зоны действия его радиотехнических средств позволяет использовать наиболее помехоустойчивые диапазоны радиоволн и передавать сигналы с наименьшими искажениями;
- обеспечивается практически неограниченная пропускная способность СНС;
- обеспечивается относительная простота и дешевизна бортового оборудования СНС на ВС, обусловленная отсутствием передатчика и современными технологиями обработки сигналов;
- возможно при дальнейшем развитии СНС комплексное использование спутниковых систем для решения задач навигации, связи и наблюдения.

Отмеченные достоинства СНС позволяют, при их внедрении, существенно облегчить решение ряда задач по обеспечению воздушного движения. Наиболее важными из них являются:

- повышение уровня безопасности полетов;
- повышение точности навигации, особенно в районах со слаборазвитой структурой наземного оборудования навигационных РТС и над водными пространствами;
- уменьшение интервалов эшелонирования ВС и увеличение пропускной способности воздушного пространства;
- спрямление воздушных трасс.

Внедрение в практику гражданской авиации спутниковых навигационных систем явилось поистине революционным событием. В десятки и сотни раз повысилась точность определения координат, определить местоположение ВС стало возможным в любой точке земного шара, появилась возможность использовать новые методы навигации.

Но роль СНС в мировой навигации гораздо больше, чем роль одного из видов РТС, даже очень точного. СНС являются составной и очень важной



частью разрабатываемой и внедряемой ИКАО в глобальном масштабе системы связи, навигации, наблюдения и организации воздушного движения – CNS/ATM.

Буква N в аббревиатуре CNS/ATM означает зональную навигацию, основанную на применении СНС. С точки зрения ИКАО (международная организация гражданской авиации) совершенствование навигации заключается в постепенном внедрении зональной навигации на основе комбинированного использования глобальной навигационной спутниковой системы, автономных инерциальных систем и обычных наземных навигационных средств.

Под глобальной навигационной спутниковой системой GNSS (Global Navigation Satellite System) понимается глобальная система определения местоположения и времени, включающая в себя одно или несколько созвездий спутников (сейчас это GPS и ГЛОНАСС, а в перспективе и Galileo), бортовые приемники и систему контроля целостности, а при необходимости и функциональные дополнения для выполнения требований к планируемым полетам.

GNSS обеспечит навигационное обслуживание во всех регионах земного шара, включая океанические районы, маршруты и районы аэродромов, и на всех этапах полета, включая заход на посадку вплоть до III категории. ИКАО считает, что внедрение GNSS в принципе позволит государствам полностью или частично ликвидировать существующую систему наземных навигационных средств (радиомаяков, систем посадки). Но к отказу от традиционных средств ИКАО призывает относиться осторожно.

Преимущества использования GNSS в рамках CNS/ATM обусловлены тем, что она обеспечивает:

- высокоцелостное, высоконадежное, всепогодное навигационное обслуживание на глобальной основе;
- повышенную точность определения местоположения при четырехмерной навигации;

- возможную экономию средств за счет снятия с эксплуатации обычных наземных навигационных средств;
- более эффективное использование аэропортов и ВПП;
- обеспечение улучшенных возможностей захода на посадку;
- возможность сокращения нагрузки на пилота;
- возможность уменьшения воздействия на окружающую среду за счет выбора гибких маршрутов.

В настоящее время требования к качеству навигации предъявляются на основе концепции PBN (PerformanceBasedNavigation– навигации, основанной на характеристиках). В рамках этой концепции рассматривается применение различных навигационных средств, но в качестве основного – именно СНС, поскольку только они способны обеспечить высокие требования к точности, предъявляемые на некоторых этапах полета.

В ближайшей перспективе будут одновременно работать три глобальных навигационных спутниковых системы: GPS, ГЛОНАСС и GALILEO.

В настоящее время используются в практической деятельности гражданской авиации только GPS и ГЛОНАСС.

#### **Контрольные вопросы:**

- назовите преимущества спутниковых навигационных систем перед традиционными радиотехническими системами навигации;
- перечислите три глобальные навигационные спутниковые системы;
- что понимается под глобальной навигационной спутниковой системой GNSS.

#### **Домашнее задание**

Задание №26. Подготовиться к устному опросу по теме «Космическая и спутниковая навигация»:

- какие глобальные навигационные спутниковые системы используются в настоящее время;

- на основе какой концепции предъявляются требования к качеству навигации;
- назовите преимущества использования GNSS в рамках CNS/ATM.

## Урок №25

### Теоретический материал

Принцип работы спутниковых систем навигации основан на измерении расстояния от антенны на объекте (координаты которого необходимо получить) до спутников, положение которых известно с большой точностью. Измерение расстояния происходит при помощи сравнения времени отправки сигнала (хранящегося в передаваемом пакете с временем приема пакета).

Таблица положений всех спутников называется альманахом. Для выполнения измерений, спутниковый приемник должен содержать в своей памяти эту таблицу. Обычно приёмник сохраняет альманах в памяти со времени последнего выключения и если он не устарел (прошло не более 2-х дней) – мгновенно использует его. Каждый спутник передаёт в своём сигнале весь альманах. Таким образом, зная расстояния до нескольких спутников системы, с помощью обычных математических вычислений и геометрических построений, на основе альманаха, можно вычислить текущее положение объекта в пространстве.

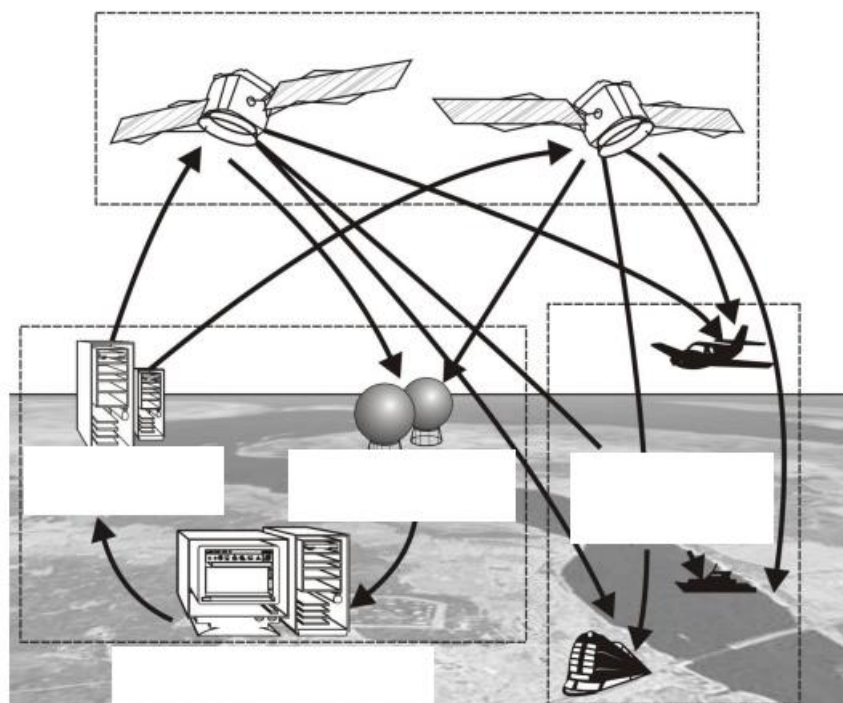
Метод измерения расстояния от спутника до антенны приёмника основан на определённости скорости распространения радиоволн. Для осуществления возможности измерения времени распространения радиосигнала каждый спутник навигационной системы излучает сигналы точного времени, в составе своего сигнала используя точно синхронизированные с системным временем атомные часы. При работе спутникового приёмника его часы синхронизируются с системным временем и при дальнейшем приёме сигналов вычисляется задержка между временем излучения, содержащимся в самом сигнале, и временем приёма сигнала. Располагая этой информацией, навигационный приёмник вычисляет

координаты антенны. Дополнительно накапливая и обрабатывая эти данные за определённый промежуток времени, становится возможным вычислить такие параметры движения, как скорость (текущую, максимальную, среднюю), пройденный путь и т.д.

### Задания на уроке

#### Практическая работа №11

1. Дополните схему недостающими элементами: подсистема космических аппаратов, станции слежения, подсистема контроля и управления, станции ввода данных, подсистема аппаратуры потребителей.



2. Подумайте, что включает в себя передаваемая спутником информация, отличается ли передаваемая информация для GPS от ГЛОНАСС, что представляет собой спутниковый сигнал, какие расчеты выполняет приемник спутниковых навигационных систем.

### Домашнее задание

Задание №27. Подготовиться к устному опросу по теме «Космическая и спутниковая навигация»:

- какие навигационные спутниковые системы используются в настоящее время;

- сформулируйте принцип работы спутниковых навигационных систем;
- что представляет собой спутниковый сигнал?

## **Тема №12. «Структура спутниковых навигационных систем»**

### **Урок №26**

#### Теоретический материал

Структура, способы функционирования и характеристики спутниковых навигационных систем зависят от требуемого качества навигационного обеспечения. Для достижения таких важнейших качеств, как непрерывность и высокая точность навигационных определений, в составе современных спутниковых навигационных систем (типа ГЛОНАСС и GPS) функционируют три сегмента:

- космический сегмент, состоящий из навигационных спутников (НС);
- наземный сегмент контроля и управления;
- сегмент потребителей, включающий аппаратуру потребителей.

Разнообразие существующей аппаратуры потребителей обеспечивает потребности наземных, морских, авиационных и космических (в пределах ближнего космоса) потребителей.

Основной операцией, выполняемой с помощью указанных выше сегментов, является определение пространственных координат местоположения потребителей и времени. Эта операция осуществляется непосредственно в аппаратуре потребителя, для чего используется позиционный способ определения местоположения потребителей на основе беззапросных (пассивных) дальномерных измерений по сигналам нескольких навигационных спутников с известными координатами.

Использование беззапросных измерений обеспечило возможность достижения неограниченной пропускной способности спутниковых навигационных систем.

Высокая точность определения местоположения потребителей обусловлена многими факторами, включая взаимное расположение спутников и параметры их навигационных сигналов. Структура космического сегмента обеспечивает для потребителя постоянную видимость требуемого числа спутников.

В настоящее время считается целесообразным введение в состав спутниковых навигационных систем региональных дополнительных систем, обеспечивающих реализацию наиболее строгих требований потребителей. Эти структуры позволяют существенно повысить точность обсерваций, обнаруживать и идентифицировать нарушения в режимах работы системы, недопустимое ухудшение качества ее функционирования и своевременно предупреждать об этом потребителей, то есть они могут осуществлять контроль целостности системы и поддерживать режим дифференциальных измерений.

### **Космический сегмент**

Космический сегмент состоит из определенного числа навигационных спутников.

Основные функции навигационного спутника - формирование и излучение радиосигналов, необходимых для навигационных определений потребителей и контроля бортовых систем спутника. С этой целью в состав аппаратуры спутника входят радиотехническое оборудование (передатчики навигационных сигналов и телеметрической информации, приемники данных и команд от наземного сегмента, антенны, блоки ориентации), бортовой компьютер, бортовой эталон времени и частоты, солнечные батареи и др. Бортовые эталоны времени и частоты обеспечивают практически синхронное излучение навигационных сигналов всеми спутниками, что необходимо для реализации режима пассивных дальномерных измерений в аппаратуре потребителей.

Навигационные сигналы спутников содержат дальномерные компоненты и компоненты служебных сообщений. Первые используют для

определения в аппаратуре потребителей навигационных параметров (дальности, ее производных и т.д.), вторые — для передачи потребителям координат спутников, векторов их скоростей, времени и др. Основная часть служебных сообщений спутника готовится в наземном командно-измерительном комплексе и передается по радиолинии на борт спутника. И только небольшая их часть формируется непосредственно бортовой аппаратурой.

Дальномерные компоненты навигационных сигналов содержат две составляющие, отличающиеся обеспечиваемой ими точностью навигационных определений (стандартной и более высокой). В аппаратуре гражданских потребителей обрабатывается сигнал стандартной точности. Для использования сигнала высокой точности требуется санкция военных органов.

Выбор состава и конфигурации орбитальной группировки навигационной системы может обеспечить заданную рабочую зону, возможность реализации различных методов навигационно-временных определений, непрерывность и точность навигационного обеспечения и т.д. Например, увеличение высоты полета примерно до 20 000 км позволяет принимать сигналы каждого навигационного спутника на значительных территориях (приблизительно на половине поверхности Земли). И тогда несколько спутников, расположенных на определенных орбитах, могут формировать сплошное, с точки зрения наземного и авиационного потребителя, навигационное поле (глобальную рабочую зону).

#### **Контрольные вопросы:**

- перечислите сегменты спутниковых систем;
- назовите основную операцию, выполняемую с помощью сегментов;
- какие основные функции навигационного спутника?

#### **Домашнее задание**

Задание №28. Подготовиться к устному опросу по теме «Структура спутниковых навигационных систем»:

- какой способ используется для определения местоположения потребителей;
- какие компоненты содержат сигналы спутников;
- что может обеспечить выбор состава и конфигурации орбитальной группировки навигационной системы.

## Урок №27

### Теоретический материал

Структура, способы функционирования и характеристики спутниковых навигационных систем зависят от требуемого качества навигационного обеспечения. Для достижения таких важнейших качеств, как непрерывность и высокая точность навигационных определений, в составе современных спутниковых навигационных систем (типа ГЛОНАСС и GPS) функционируют три сегмента:

- космический сегмент, состоящий из навигационных спутников (НС);
- наземный сегмент контроля и управления;
- сегмент потребителей, включающий аппаратуру потребителей.

Разнообразие существующей аппаратуры потребителей обеспечивает потребности наземных, морских, авиационных и космических (в пределах ближнего космоса) потребителей.

Основной операцией, выполняемой с помощью указанных выше сегментов, является определение пространственных координат местоположения потребителей и времени. Эта операция осуществляется непосредственно в аппаратуре потребителя, для чего используется позиционный способ определения местоположения потребителей на основе беззапросных (пассивных) дальномерных измерений по сигналам нескольких навигационных спутников с известными координатами.

Использование беззапросных измерений обеспечило возможность достижения неограниченной пропускной способности спутниковых навигационных систем.



Высокая точность определения местоположения потребителей обусловлена многими факторами, включая взаимное расположение спутников и параметры их навигационных сигналов. Структура космического сегмента обеспечивает для потребителя постоянную видимость требуемого числа спутников.

В настоящее время считается целесообразным введение в состав спутниковых навигационных систем региональных дополнительных систем, обеспечивающих реализацию наиболее строгих требований потребителей. Эти структуры позволяют существенно повысить точность обсерваций, обнаруживать и идентифицировать нарушения в режимах работы системы, недопустимое ухудшение качества ее функционирования и своевременно предупреждать об этом потребителей, то есть они могут осуществлять контроль целостности системы и поддерживать режим дифференциальных измерений.

### **Космический сегмент**

Космический сегмент состоит из определенного числа навигационных спутников.

Основные функции навигационного спутника - формирование и излучение радиосигналов, необходимых для навигационных определений потребителей и контроля бортовых систем спутника. С этой целью в состав аппаратуры спутника входят радиотехническое оборудование (передатчики навигационных сигналов и телеметрической информации, приемники данных и команд от наземного сегмента, антенны, блоки ориентации), бортовой компьютер, бортовой эталон времени и частоты, солнечные батареи и др. Бортовые эталоны времени и частоты обеспечивают практически синхронное излучение навигационных сигналов всеми спутниками, что необходимо для реализации режима пассивных дальномерных измерений в аппаратуре потребителей.

Навигационные сигналы спутников содержат дальномерные компоненты и компоненты служебных сообщений. Первые используют для

определения в аппаратуре потребителей навигационных параметров (дальности, ее производных и т.д.), вторые — для передачи потребителям координат спутников, векторов их скоростей, времени и др. Основная часть служебных сообщений спутника готовится в наземном командно-измерительном комплексе и передается по радиолинии на борт спутника. И только небольшая их часть формируется непосредственно бортовой аппаратурой.

Дальномерные компоненты навигационных сигналов содержат две составляющие, отличающиеся обеспечиваемой ими точностью навигационных определений (стандартной и более высокой). В аппаратуре гражданских потребителей обрабатывается сигнал стандартной точности. Для использования сигнала высокой точности требуется санкция военных органов.

Выбор состава и конфигурации орбитальной группировки навигационной системы может обеспечить заданную рабочую зону, возможность реализации различных методов навигационно-временных определений, непрерывность и точность навигационного обеспечения и т.д. Например, увеличение высоты полета примерно до 20 000 км позволяет принимать сигналы каждого навигационного спутника на значительных территориях (приблизительно на половине поверхности Земли). И тогда несколько спутников, расположенных на определенных орбитах, могут формировать сплошное, с точки зрения наземного и авиационного потребителя, навигационное поле (глобальную рабочую зону).

#### **Контрольные вопросы:**

- перечислите сегменты спутниковых систем;
- назовите основную операцию, выполняемую с помощью сегментов;
- какие основные функции навигационного спутника?

#### **Домашнее задание**

Задание №29. Подготовиться к устному опросу по теме «Структура спутниковых навигационных систем»:

- где определяются координаты навигационных спутников в настоящее время;
- опишите этапы определения координат навигационных спутников;
- как называются производные спрогнозированных координат.

## Урок №28

### Теоретический материал

ИСЗ состоит из космической платформы и полезной нагрузки. Общая масса спутника в 2500...3000 кг, в то время как масса полезной нагрузки составляет 450...500 кг.

Конструкция ИСЗ должна выдерживать статические и динамические нагрузки, возникающие при запуске ракеты-носителя, при включении апогейного двигателя, и различного рода орбитальные возмущения.

Обычно конструкция ИСЗ условно делится на две части: главную и вспомогательную (или обеспечивающую).

Главную конструкцию (корпус) на ИСЗ выполняют из легких алюминиевых сплавов. Она содержит простую оболочку цилиндрической или конической формы с рамой или ребрами жесткости, а также различные фасонные опоры и перекладины для ячеистых панелей солнечной батареи, плоскостей антенн и других устройств.

Вспомогательная конструкция (платформа) включает двигатели коррекции положения и стабилизации ИСЗ на орбите, резервуары с запасом топлива для них, систему терморегулирования и другие устройства, обеспечивающие нормальное функционирование ИСЗ на орбите.

К космической платформе предъявляется ряд требований: высокая степень удержания ИСЗ в заданной позиции на ГСО и устойчивость его положения; высокая точность наведения антенн; длительный срок службы на определенной орбитальной позиции; отвод (рассеяние) тепла, выделяемого

полезной нагрузкой в свободное пространство; подвод электрической энергии от солнечных батарей к радиотехнической аппаратуре.

Система терморегулирования поддерживает температуру ИСЗ в пределах, подходящих для нормального функционирования аппаратуры. В космосе теплопередача происходит главным образом в результате излучения в вакуум. Для приборов ИСЗ она происходит через их конструктивную связь с внешними излучающими радиаторами, постоянная освещенность которых сильно ограничивает емкость теплопередачи.

Система контроля положения ИСЗ необходима для удержания радиолуча антенны (или нескольких антенн) спутника на заданные районы Земли.

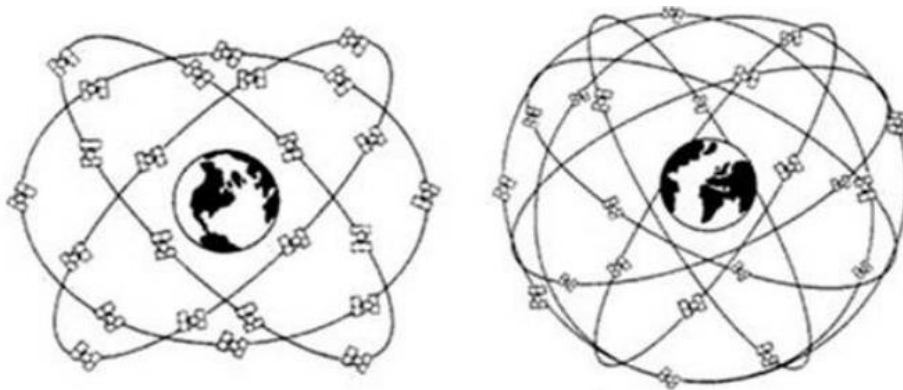
Процесс контроля положения ИСЗ на орбите включает в себя следующие процедуры: измерение положения спутника по датчикам; сравнение результатов измерения с требуемыми значениями; вычисление поправок, которые должны быть сделаны для уменьшения ошибок; введение этих поправок включением в работу соответствующих двигательных установок.

На борту любого спутника имеются двигательные установки, которые по командам оператора с Земли стабилизируют его положение на ГСО. При необходимости с помощью двигателей-толкачей спутник изменяет свое положение на орбите в направлениях север — юг и запад — восток. Именно для работы двигателей коррекции на борту спутника находится определенное количество горючего.

### **Задания на уроке**

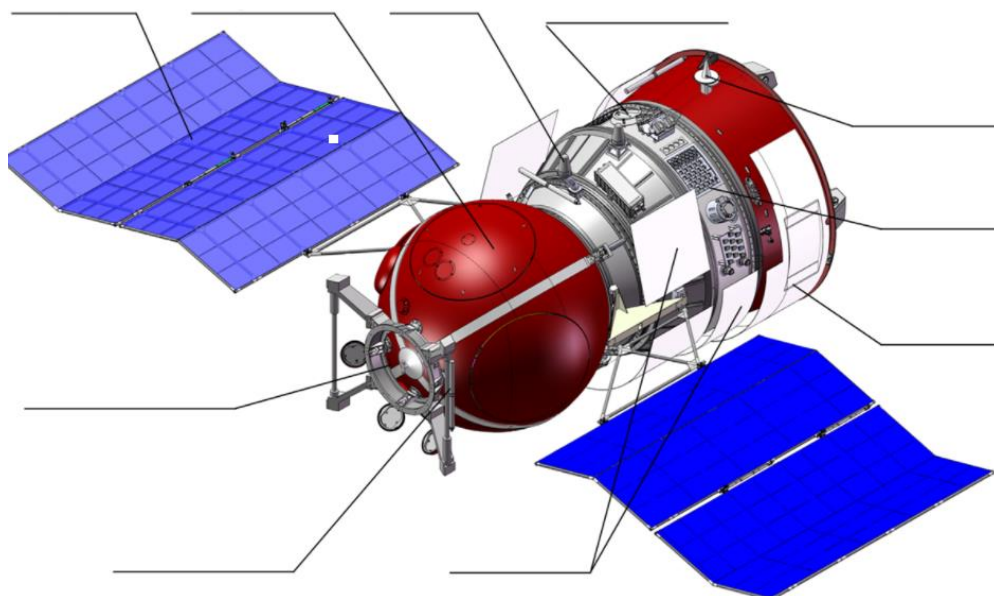
#### **Практическая работа №12**

1. Сопоставьте схему орбит спутников с системой космических спутников ГЛОНАСС и GPS. Составьте требования для каждой из систем к высоте полета, количеству оборотов за 24 часа, углу плоскости орбит спутников с полюсом экватора, количеству спутников на одной орбите, оптимальному количеству спутников.



2. Подумайте, где могут располагаться приемники сектора пользователя, как их можно классифицировать по назначению.

3. Дополните схему спутника, указав его составляющие: солнечная батарея, антенна БКСВУ, спускаемый аппарат, платформа средств отделения, радиатор-охладитель, электромагнит системы сброса кинетического момента, антенна бортовой системы телеметрических измерений, антенна бортовой аппаратуры командно-измерительной системы, приборный отсек, агрегатный отсек.



### Домашнее задание

Задание №30. Подготовиться к устному опросу по теме «Структура спутниковых навигационных систем»:

- назовите основные составляющие спутника;
- какие функции выполняют двигательные установки спутника?
- какие процедуры входят в процесс контроля положения спутника на орбите?

### **Тема №13. «Система ГЛОНАСС: история и перспективы развития»**

#### **Урок №29**

##### Теоретический материал

Впервые предложение по использованию спутников для навигации было сделано проф. В.С. Шебшаевичем в 1957г. Эта возможность была открыта им при исследовании приложений радиоастрономических методов в самолетовождении. После этого в целом ряде советских институтов были проведены исследования, посвященные вопросам повышения точности навигационных определений, обеспечения глобальности, круглосуточного применения и независимости от погодных условий. Данные исследования были использованы в 1963г. при опытно-конструкторских работах над первой отечественной низкоорбитальной системой "Цикада". В 1967г. был выведен на орбиту первый навигационный отечественный спутник "Космос-192". Навигационный спутник обеспечивал непрерывное излучение радионавигационного сигнала на частотах 150 и 400 МГц в течение всего времени активного существования.

Система "Цикада" была сдана в эксплуатацию в составе четырех спутников в 1979 г. Навигационные спутники были выведены на круговые орбиты высотой 1000 км с наклоном  $83^\circ$  и равномерным распределением плоскостей орбит вдоль экватора. Система "Цикада" позволяла потребителю в среднем через каждые 1.5–2 часа входить в радиокontakt с одним из спутников и определять плановые координаты своего места при продолжительности навигационного сеанса до 5-6 мин. Навигационная система "Цикада" использовала беззапросные измерения дальности от

потребителя до навигационных спутников. Наряду с совершенствованием бортовых систем спутника и корабельной навигационной аппаратуры, серьезное внимание было уделено вопросам повышения точности определения и прогнозирования параметров орбит навигационных спутников.

В дальнейшем спутники системы "Цикада" были дооборудованы приемной измерительной аппаратурой обнаружения терпящих бедствие объектов, оснащенных специальными радиобуями. Их сигналы принимались спутниками системы "Цикада" и ретранслировались на специальные наземные станции, где производилось вычисление точных координат аварийных объектов (судов, самолетов и др.). Дооснащенные аппаратурой обнаружения терпящих бедствие спутники "Цикада" входили в систему "Коспас", которая совместно с американо-франко-канадской системой "Сарсат" образует единую службу поиска и спасения "Коспас-Сарсат", на счету которой уже несколько тысяч спасенных жизней. Создавалась КНС «Цикада» (и ее модернизация «Цикада-М») для навигационного обеспечения военных потребителей и эксплуатировалась с 1976 года. После 2008 года потребители КНС «Цикада» и «Цикада-М» были переведены на обслуживание ГЛОНАСС, и эксплуатация этих систем была прекращена. Выполнить требования большого числа потребителей низкоорбитальные системы в силу принципов, заложенных в основу их построения, не могли.

Успешная эксплуатация низкоорбитальных спутниковых навигационных систем морскими потребителями привлекла широкое внимание к спутниковой навигации. Возникла необходимость создания универсальной навигационной системы, удовлетворяющей требованиям подавляющего состава потенциальных потребителей.

На основе проведенных многосторонних исследований отечественными специалистами была выбрана штатная орбитальная группировка ГЛОНАСС из 24 спутников, находящихся на средневысотных околокруговых орбитах с номинальными значениями высоты – 19100 км, наклона –  $64,8^\circ$  и периода – 11 часов 15 минут 44 секунды.

Летные испытания высокоорбитальной отечественной навигационной системы, получившей название ГЛОНАСС, были начаты в октябре 1982 г. запуском спутника "Космос-1413". Система ГЛОНАСС была принята в опытную эксплуатацию в 1993 г. В 1995 г. развернута орбитальная группировка полного состава (24 КА «Глонасс» первого поколения) и начата штатная эксплуатация системы.

Однако далее орбитальная группировка ГЛОНАСС, как и система в целом, в связи с экономическими проблемами в 90-е годы достаточно быстро деградировала. К 2002 году орбитальная группировка системы ГЛОНАСС насчитывала только 7 КА, что не могло обеспечить территорию России навигационными сигналами системы ГЛОНАСС хотя бы с умеренной доступностью. Точностные характеристики уступали более чем на порядок системе GPS, срок активного существования КА составлял 3-4 года.

Ситуацию с деградацией системы ГЛОНАСС удалось переломить за счет разработки и открытия в 2002 году федеральной целевой программы, в ходе реализации которой были достигнуты следующие основные цели:

- Система ГЛОНАСС сохранена, прошла этап модернизации и развернута до штатного состава в составе КА «Глонасс-М». В мире в настоящее время имеется две штатно функционирующие глобальные навигационные системы: GPS и ГЛОНАСС.
- Проведена модернизация наземного комплекса управления, который обеспечивает управление орбитальной группировкой (ОГ) и в совокупности с КА ОГ обеспечивает точностные характеристики системы на уровне, сопоставимом с системой GPS.
- Проведены существенные модернизации средств государственного эталона времени и частоты и средств определения параметров вращения Земли.
- Созданы опытные образцы функциональных дополнений глобальных навигационных систем, разработано большое количество образцов



базовых приемоизмерительных модулей, навигационно-временной аппаратуры и систем на их основе.

В настоящее время появляется широкий спектр задач навигационного и координатно-временного обеспечения, условий и областей применения спутниковых навигационных технологий, требующих дальнейшего совершенствования системы ГЛОНАСС, включая навигационную аппаратуру потребителей. В первую очередь это относится к высокоточным применениям системы ГЛОНАСС, для реализации которых требуется обеспечение дециметрового и сантиметрового уровней точности в реальном масштабе времени, а также к применениям, связанным с обеспечением безопасности при эксплуатации авиационного, морского и наземного транспорта. Требуется повышение оперативности навигационных решений и устойчивости системы ГЛОНАСС к воздействию помех. Существует значительное количество применений, где предъявляются требования обеспечения миниатюризации и высокой чувствительности навигационной приемной аппаратуры.

#### **Контрольные вопросы:**

- как была открыта возможность использования спутников для навигации;
- как называлась первая отечественная низкоорбитальная система;
- когда были начаты летные испытания навигационной системы ГЛОНАСС.

#### **Домашнее задание**

Задание №31. Подготовиться к устному опросу по теме: «Система ГЛОНАСС: история и перспективы развития»:

- кем было выдвинуто предложение по использованию спутников для навигации;
- опишите кратко работу системы «Цикада»;
- какие цели были достигнуты с открытием в 2002 году федеральной целевой программы.

## Урок №30

Теоретический материал

В настоящее время на базе системы ГЛОНАСС предполагается создание Единой глобальной системы координатно-временного обеспечения (ЕС КВО).

Кроме спутниковой системы, ЕС КВО включает:

- Государственную систему Единого времени с эталонной базой страны;
- Государственную систему и службу определения параметров вращения Земли;
- систему наземной и заатмосферной оптической астрометрии;
- космическую геодезическую систему и др.

Считается, что возможности существенного повышения точности навигационных определений связаны с созданием глобальной системы отсчета, использующей самоопределяющиеся навигационно-геодезические КА без привлечения измерений с поверхности Земли.

При разработке направлений и путей совершенствования системы учитывается постоянный рост требований пользователей к точности навигационных определений и целостности системы. При этом под целостностью в данном случае понимается способность самой системы обеспечивать предупреждение пользователей о тех моментах времени, когда система не должна использоваться для навигационных определений. Одним из важнейших путей решения этой проблемы является интеграция двух спутниковых радионавигационных систем - ГЛОНАСС и GPS.

Можно выделить четыре основных направления модернизации системы ГЛОНАСС:

- улучшение совместимости с другими радиотехническими системами;
- повышение точности навигационных определений и улучшение сервиса, предоставляемого пользователям;
- повышение надежности и срока службы бортовой аппаратуры спутников и улучшение целостности системы;
- развитие дифференциальной подсистемы.

Одним из элементов первого направления является уже сокращение и смещение занимаемого диапазона частот. К настоящему времени находящиеся в эксплуатации КА уже полностью прекратили передачу радиосигналов в полосе 1610.6...1613.8 МГц диапазона L1 (литера частот  $k=16...20$ ), используемой при радиоастрономических исследованиях. В дальнейшем КА "Ураган", уже находящиеся на орбите, будут использовать литеры частот  $k=0...12$ ,  $22...24$ , а литеры частот 13, 14 и 21 будут иметь ограниченное применение: после запуска КА на этапе ввода в эксплуатацию, а также при проведении профилактических работ. Литер  $k=0$  потребителями системы не используется и служит для проверки находящихся на орбите резервных спутников.

На втором этапе, с началом запуска модернизированных КА "Ураган-М", излучение сигналов с борта КА будет осуществляться только на несущих частотах с литерами  $k=0...12$ . Наконец, на третьем этапе (ориентировочно с 2005 г.) КА "Ураган-М" будут использовать для излучения навигационных сигналов несущие частоты с  $k = -7 ... 4$ , а несущие частоты с номиналом 5 и 6 будут использоваться только как технологические при работе спутников с НКУ.

С целью повышения точности навигационных определений потребителями на борту КА "Ураган-М" будет установлен новый цезиевый стандарт частоты. Кроме того, модернизированные КА будут излучать сигналы для гражданских пользователей в двух диапазонах волн L1 и L2, что позволит практически полностью исключить ионосферную погрешность измерений пользователям, оборудованным двухчастотными приемниками.

Совместное использование для навигации двух систем - ГЛОНАСС и GPS, дает пользователям дополнительные преимущества, главными из которых являются повышение достоверности навигационного определения за счет увеличения числа доступных КА в зоне радиовидимости потребителя. Целый ряд предпосылок существенно облегчает интеграцию двух систем, в частности, приводя лишь к незначительному усложнению и удорожанию

комбинированных приемников ГЛОНАСС-GPS. К таким предпосылкам можно отнести:

- схожесть принципов синхронизации и измерения навигационных параметров;

- малое различие в используемых системах координат;

- близкий частотный диапазон;

- общность принципов баллистического построения;

- готовность правительств России и США предоставить системы для использования различными потребителями мирового сообщества.

Режим дифференциальной навигации основан на том, что большинство погрешностей СРНС во времени и в пространстве относительно постоянны. Следовательно, если одновременно с обработкой навигационных сигналов потребитель будет получать поправки к ним, характеризующие точность навигации в данном районе, то это, как показывает опыт, позволяет снизить погрешности определения координат и высоты до 5 м. Для обеспечения работы в таком режиме создаются дифференциальные подсистемы СРНС, которые подразделяются на широкозонные, региональные и локальные.

В России наиболее активно развивается последний тип дифференциальных подсистем.

К настоящему времени определились три основных класса локальных дифференциальных подсистем (ЛДПС) СРНС:

- морские, для обеспечения мореплавания в проливных зонах, узкостях и акваториях портов и гаваней в соответствии с требованиями Международной морской организации;

- авиационные, для обеспечения захода на посадку и посадки воздушных судов по категориям Международной организации гражданской авиации;

- локальные, для геодезических, землемерных и других специальных работ.

Предполагается, что сеть морских ЛДПС, работающих по сигналам систем ГЛОНАСС и GPS, будет охватывать все побережье России и акватории

прилегающих морей. В настоящее время отдельные средства проходят предварительную проверку на Балтике.

### **Контрольные вопросы:**

- какую систему предполагается создать на базе системы «ГЛОНАСС»?
- назовите предпосылки для интеграции систем ГЛОНАСС и GPS;
- какие преимущества даст пользователям совместное использование этих двух систем?

### **Домашнее задание**

Задание №32. Подготовиться к устному опросу по теме: «Система ГЛОНАСС: история и перспективы развития»:

- назовите четыре основных направления модернизации системы ГЛОНАСС;

- какие основные типы локальных дифференциальных подсистем определились к настоящему времени?

- какой из этих типов активно развивается в России?

### **Урок №31**

Теоретический материал

Одной из глобальных проблем создания спутниковой системы, обеспечивающей беззапросные навигационные определения одновременно по нескольким спутникам, является проблема взаимной синхронизации спутниковых шкал времени с точностью до нано- секунд, поскольку рассинхронизация излучаемых спутниками навигационных сигналов ведет к увеличению погрешности определения местоположения объекта.

Решение задачи высокоточной синхронизации бортовых шкал времени потребовало установки на спутниках высокостабильных бортовых цезиевых стандартов частоты и наземного водородного стандарта, а также создания наземных средств сличения шкал с погрешностью 3...5 нс. Второй проблемой создания высокоорбитальной навигационной системы является высокоточное определение и прогнозирование параметров орбит навигационных спутников.

Летные испытания высокоорбитальной отечественной навигационной системы, получившей название ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система), были начаты в октябре 1982 г. запуском спутника «Космос-1413», а в 1995 г. было завершено ее развертывание до штатного состава. Были выведены на заданные орбиты 24 космических аппарата (КА), разработаны комплексы самолетной, наземной и морской аппаратуры.

Основным заказчиком и ответственным за испытания и управление системой являлись Военно-космические силы (ВКС) РФ, а затем РВСН, в состав которых позднее вошли ВКС.

Примечательно, что поначалу ГЛОНАСС использовалась в основном только для военных нужд, но в настоящее время она является открытой системой для пользователей. Она имеет свои преимущества перед американской системой GPS. А вот практическое использование комбинированных приемников ГЛОНАСС/GPS обеспечивает максимальную эффективность.

Число спутников американской системы больше, чем в ГЛОНАСС – на орбите насчитывалось до 31 спутника навигации в 2013 году, в то время, как ГЛОНАСС только стремится его превзойти. 24 спутника, поддерживающих систему ГЛОНАСС, работают, прежде всего, с нацеленностью на обеспечение лучшего сигнала по российской территории. Если сбудутся планы по объединению мощностей ГЛОНАСС и Бэйдоу, система мониторинга увеличит свои возможности многократно. Стремясь к самому точному и быстрому определению местоположения отслеживаемого объекта, обе системы пока еще далеки от идеальных показателей. Если учитывать применимость ГЛОНАСС в различных местах планеты, отставание этой системы более очевидно: погрешность сведений составляет до 6 метров, в то время как американская навигация обеспечивает точность до 2-4 метров.

Для использования в автомобильной сфере подобные погрешности не имеют принципиального значения, тем более, что большинство навигаторов, используемых в России, могут обеспечивать прием данных в обеих системах,

обеспечивая точность приема (как правило, на орбите одновременно находится в пределах видимости до 15 спутников).

### Задания на уроке

#### Практическая работа №13

1. На основе теоретического материала составьте таблицу с хронологией развития Глонасс.

п/п	Событие
1957 г.	
1967 г.	
1979 г.	
1982 г.	
1993 г.	
1995 г.	
2002 г.	
2008 г.	

2. Подумайте, какие могли возникнуть проблемы при создании высокоорбитальной навигационной системы, как их можно было решить.

3. Сформулируйте возможные усовершенствования системы ГЛОНАСС.

### Домашнее задание

Задание №33.Подготовиться к устному опросу по теме «Система ГЛОНАСС: история и перспективы развития»:

- перечислите основные этапы развития системы ГЛОНАСС;
- назовите четыре основных направления модернизации системы ГЛОНАСС;
- назовите основные цели модернизации системы.

### Тема №14. «ГЛОНАСС-М, ГЛОНАСС-К»

#### Урок №32

Теоретический материал

Основным разработчиком системы ГЛОНАСС в целом является НПО прикладной механики (г. Красноярск), а по спутникам – ПО «Полет» (г. Омск).

В разработке ГЛОНАСС принимают участие и другие организации и предприятия. Центр управления системой ГЛОНАСС располагается под Краснознаменском (Московская область), а командные станции слежения – вблизи населенных пунктов Санкт-Петербург, Щелково (Московская обл.), Воркута, Енисейск, Улан-Удэ, Якутск, Комсомольск-на-Амуре, Петропавловск-Камчатский.

Подсистема космических аппаратов системы ГЛОНАСС состоит из 24-х спутников, находящихся на практически круговых орбитах высотой 19100 км с наклоном  $64,8^\circ$  и периодом обращения 11 часов 15 минут. Более высокое наклонение, чем в Navstar GPS, улучшает условия приема сигналов со спутников в полярных районах планеты. Спутники расположены в трех орбитальных плоскостях. Орбитальные плоскости разнесены по долготе на  $120^\circ$ . В каждой орбитальной плоскости размещаются по 8 спутников с равномерным шагом по аргументу широты  $45^\circ$ . Расположение спутников в каждой плоскости сдвинуто по отношению к соседней плоскости на  $15^\circ$  по аргументу широты. Такая конфигурация спутников позволяет обеспечить непрерывное и глобальное покрытие земной поверхности и околоземного пространства навигационным полем.

Спутники первого поколения под названием «Глонасс» имели ограниченный срок службы. С 2004 г. начат запуск спутников нового поколения «Глонасс-М». Эти спутники имеют увеличенный срок службы. В их конструкции используются французские комплектующие, навигационный сигнал для пользователей передается в двух диапазонах частот. В 2011 г. произведен запуск первого спутника третьего поколения «Глонасс-К», полностью российского производства. В нем излучаются три дополнительных навигационных сигнала, используется еще одна дополнительная частота (L5). За счет этого существенно повышается точность навигационных определений. В этих спутниках также используются сигналы множественного доступа с



кодовым разделением, что делает спутники совместимыми с другими СНС (GPS, Galileo, Compass).

Спутник представляет собой цилиндрический гермоконтейнер с солнечными батареями. В его состав входят навигационный передатчик, хронизатор (часы), управляющий комплекс, средства заправки и обеспечения параметров среды, системы стабилизации, ориентации, коррекции, электропитания, терморегулирования.

В отличие от Navstar GPS, в ГЛОНАСС спутники работают на разных частотах. Рассмотрим структуру сигналов, передаваемых спутниками «Глонасс-М». Каждый спутник передает навигационные радиосигналы на собственных частотах в двух частотных поддиапазонах, обозначаемых L1 и L2.

Частоты излучения каждого спутника могут быть рассчитаны по следующим формулам:

$$f_1 = (1602 + k \cdot 562,5) \text{ МГц} - \text{для поддиапазона L1,}$$

$$f_2 = (1246 + k \cdot 437,5) \text{ МГц} - \text{для поддиапазона L2.}$$

Каждому спутнику назначен свой номер частоты  $k$ . В настоящее время для вновь запускаемых спутников назначаются частоты, соответствующие  $k$  в пределах от  $-7$  до  $+6$ . Спутники, находящиеся в диаметрально противоположных концах одной и той же орбиты, могут излучать на одной и той же частоте. Они не мешают друг другу, поскольку наблюдатель на земле может принимать сигналы только от одного из них.

В каждом поддиапазоне спутники излучают сигналы двух типов: высокой точности (ВТ) и стандартной точности (СТ). Сигналы высокой точности могут использоваться только специальными потребителями по разрешению министерства обороны Российской Федерации и поэтому в данном учебном пособии не рассматриваются. Сигнал стандартной точности состоит из: – псевдослучайного дальномерного двоичного кода; – навигационного сообщения; – вспомогательного меандрового колебания.

Слово «меандр» происходит от названия реки и означает вид геометрического орнамента, а меандровое колебание представляет собой бесконечное периодическое колебание прямоугольной (а не синусоидальной) формы, в котором длительность импульсов и пауз между ними одинакова.

Дальномерный код является псевдослучайной двоичной последовательностью, которая, в отличие от GPS, является одинаковой для всех спутников. Она формируется с помощью 9-значного регистра сдвига (выходом является значение в 7 ячейке регистра). Данная последовательность имеет длину 511 бит («импульсов» и пауз между ними) и повторяется каждую миллисекунду. Это означает, что код передается со скоростью 511 Кбит/с.

### **Контрольные вопросы:**

- кто является основным разработчиком системы ГЛОНАСС;
- какой спутник системы ГЛОНАСС был запущен первым;
- что представляет собой спутник?

### **Домашнее задание**

Задание №34. Подготовиться к устному опросу по теме «Глонасс-М, Глонасс-К»:

- что обеспечивает конфигурация спутников системы ГЛОНАСС;
- кем было выдвинуто предложение по использованию спутников для навигации;
- опишите кратко структуру сигналов, передаваемых спутниками «Глонасс-М».

## **Урок №33**

### **Теоретический материал**

Спутники первого поколения под названием «Глонасс» имели ограниченный срок службы. С 2004 г. начат запуск спутников нового поколения «Глонасс-М». Эти спутники имеют увеличенный срок службы. В их конструкции используются французские комплектующие, навигационный сигнал для пользователей передается в двух диапазонах частот. В 2011 г.

произведен запуск первого спутника третьего поколения «Глонасс-К», полностью российского производства. В нем излучаются три дополнительных навигационных сигнала, используется еще одна дополнительная частота (L5). За счет этого существенно повышается точность навигационных определений. В этих спутниках также используются сигналы множественного доступа с кодовым разделением, что делает спутники совместимыми с другими СНС (GPS, Galileo, Compass).

В отличие от Navstar GPS, в ГЛОНАСС спутники работают на разных частотах. Рассмотрим структуру сигналов, передаваемых спутниками «Глонасс-М». Каждый спутник передает навигационные радиосигналы на собственных частотах в двух частотных поддиапазонах, обозначаемых L1 и L2.

Частоты излучения каждого спутника могут быть рассчитаны по следующим формулам:

$$f_1 = (1602 + k \cdot 562,5) \text{ МГц} - \text{ для поддиапазона L1,}$$

$$f_2 = (1246 + k \cdot 437,5) \text{ МГц} - \text{ для поддиапазона L2.}$$

Каждому спутнику назначен свой номер частоты  $k$ . В настоящее время для вновь запускаемых спутников назначаются частоты, соответствующие  $k$  в пределах от  $-7$  до  $+6$ . Спутники, находящиеся в диаметрально противоположных концах одной и той же орбиты, могут излучать на одной и той же частоте. Они не мешают друг другу, поскольку наблюдатель на земле может принимать сигналы только от одного из них.

В каждом поддиапазоне спутники излучают сигналы двух типов: высокой точности (ВТ) и стандартной точности (СТ). Сигналы высокой точности могут использоваться только специальными потребителями по разрешению министерства обороны Российской Федерации и поэтому в данном учебном пособии не рассматриваются. Сигнал стандартной точности состоит из: – псевдослучайного дальномерного двоичного кода; – навигационного сообщения; – вспомогательного меандрового колебания.

### **Задания на уроке**

## Практическая работа №14

1. На основе теоретического материала составьте таблицу с характеристиками «Глонасс-М», «Глонасс-К».

п/п	«Глонасс-М»	«Глонасс-К»
Годы развертывания		
Состояние		
Гарантированный срок активного существования, лет		
Масса КА, кг		
Тип исполнения КА		
Наличие системы поиска и спасания		

2. Сформулируйте основные причины выхода из строя спутников «Глонасс-М» и «Глонасс-К» и меры, предпринимаемые при выходе спутника из строя.

### Домашнее задание

Задание №35. Подготовиться к устному опросу по теме «Глонасс-М», «Глонасс-К»:

- опишите кратко структуру сигналов, передаваемых спутниками «Глонасс-М»;
- назовите основные причины выхода из строя спутников ГЛОНАСС;
- в каком году был произведен запуск первого спутника «Глонасс-К»?

## Тема №15. «Орбитальная группировка»

### Урок №34

Теоретический материал

**Орбитальная группировка** – совокупность космических аппаратов, расположенных на одной орбите. Основными параметрами, которые характеризуют орбитальную группировку, являются: высота орбиты, ее

наклонение к плоскости экватора, число орбитальных плоскостей и спутников в каждой из них.

Орбитальная спутниковая группировка России насчитывает более 150 космических аппаратов, почти две трети из которых являются спутниками военного назначения.

Из общего числа космических аппаратов российской орбитальной группировки более 90 аппаратов функционируют в интересах Министерства обороны России, то есть космические аппараты военного назначения, и более 60 аппаратов функционируют в рамках выполнения федеральной космической программы и в интересах других министерств и ведомств.

В состав орбитальной группировки России входят:

- Глобальная Национальная Спутниковая Система (ГЛОНАСС);
- Многофункциональная космическая система ретрансляции (МКСР) «Луч»;
- Многофункциональная система персональной спутниковой связи (МСПСС) «Гонец-Д1М»;
- Система поиска и спасания КОСПАС-САРСАТ;
- Дистанционное зондирование Земли.

**ГЛОНАСС** – российская спутниковая система навигации, предназначена для оперативного навигационно-временного обеспечения неограниченного числа пользователей наземного, морского, воздушного и космического базирования. ГЛОНАСС – единственная система в мире, которая предоставляет доступ к гражданскому сигналу глобального позиционирования в двух частотных диапазонах L1 и L2 потребителям по всему миру на безвозмездной основе.

Основой системы ГЛОНАСС являются 24 космических аппарата, которые движутся в трех орбитальных плоскостях по 8 аппаратов в каждой плоскости, наклоненных к экватору под углом  $64,8^\circ$ , с высотой орбит 19100 км и периодом обращения 11 ч 15 мин 44 с. Выбранная структура орбитальной

группировки обеспечивает движение всех КА по единой трассе на поверхности Земли с ее повторяемостью через 8 суток. Такие характеристики обеспечивают высокую устойчивость орбитальной группировки системы ГЛОНАСС, что практически позволяет обходиться без коррекции орбит космических аппаратов в течение всего срока их активного существования.

МКСР «Луч» предназначена для информационного обеспечения объектов ракетно-космической техники (РКТ), МКСР «Луч» обеспечивает:

- ретрансляцию данных с Международной космической станции;
- ретрансляцию сигналов СДКМ МГНС ГЛОНАСС;
- ретрансляцию информации системы КОСПАС-САРСАТ;
- ретрансляцию телеметрической информации с ракет-носителей/разгонных блоков;
- ретрансляцию информации с космических аппаратов дистанционного зондирования Земли;
- ретрансляцию данных Росгидромета;
- ретрансляцию данных с низкоорбитальных космических аппаратов;
- ретрансляцию телепрограмм, новостей, телерепортажей, видеоконференцсвязь.

Орбитальная группировка МКСР «Луч» составляет 3 геостационарных космических аппарата серии «Луч-5», «Луч-5А» выведен на орбиту в 2011 г., «Луч-5Б» – в 2012 г., «Луч-5В» – в 2014 г.

- Тип орбиты – геостационарная;
- Высота орбиты – 35 800 км;
- Количество КА в орбитальной группировке – 3;
- Покрытие земного шара – околोगлобальное (до 72° С, Юшир.).

Наземная инфраструктура МКСР «Луч» расположена на территории России. Состав наземной инфраструктуры МКСР «Луч»:

- КИС-Л – Командно-измерительная система «Луч»;

- ПППИ – Пункт приема-передачи информации;
- АПКО – Аппаратно-программный комплекс оператора;
- ЦУРС – Центр управления ретрансляцией и связью;
- ЗССС – Земная станция спутниковой связи.

Основным назначением МСПСС «Гонец-Д1М» является передача данных и предоставление услуг подвижной спутниковой связи абонентам в глобальном масштабе с использованием группировки космических аппаратов связи на низких орбитах.

Система «Гонец» позволяет осуществлять мониторинг любого вида транспорта, а также обеспечивать подвижную персональную связь, оперативный контроль и управление независимо от местоположения объекта. Спутниковая система «Гонец» применяется в транспортной, нефтегазовой, рыбопромышленной отраслях. С ее помощью обеспечивается спутниковая связь в регионах с обширными территориями и экологический мониторинг.

Также каналы подвижной спутниковой связи «Гонец» используются в сетях М2М, где есть необходимость передавать телематические данные из удаленных мест, не охваченных наземными сетями связи.

Орбитальная группировка МСПСС «Гонец-Д1М» составляет 12 низкоорбитальных космических аппаратов (КА) «Гонец-М»:

- Тип орбиты – круговая, приполярная;
- Орбитальное наклонение –  $82,5^\circ$ ;
- Высота орбиты – до 1500 км;
- Количество орбитальных плоскостей – 4;
- Количество КА в плоскости – 3;
- Покрытие земного шара – 100%.

#### **Контрольные вопросы:**

- дайте определение понятию «орбитальная группировка»;
- перечислите состав орбитальной группировки России;
- назовите параметры, характеризующие орбитальную группировку.

## Домашнее задание

Задание №36. Подготовиться к устному опросу по теме «Орбитальная группировка»:

- для чего предназначена спутниковая система ГЛОНАСС;
- что обеспечивает орбитальная группировка МКСР «Луч»;
- какая орбитальная группировка имеет наибольшую высоту орбиты.

## Урок №35

Теоретический материал

Система поиска и спасания **КОСПАС-САРСАТ** предназначена для оперативного оповещения о чрезвычайных ситуациях и определения географических координат места бедствия. Совместный проект СССР, США, Канады и Франции. Доступ к системе предоставляется всем государствам на равноправных условиях, а использование является безвозмездным для терпящих бедствие.

Международная спутниковая система поддержки поисково-спасательных операций КОСПАС-САРСАТ позволяет в режиме реального времени отслеживать сигналы бедствия судовых, авиационных и персональных аварийных радиомаяков, определять их географические координаты и мгновенно информировать о чрезвычайных происшествиях поисково-спасательные службы и ответственные координационные центры. Доступ к системе является открытым, а использование – безвозмездным для терпящих бедствие.

Ключевая задача проекта – обеспечить максимальную выживаемость в дальнем море и труднодоступных районах суши, где часто отсутствует какая-либо связь, и своевременное информирование о чрезвычайных ситуациях предельно затруднено. Для решения задачи используется группировка низкоорбитальных (НССПС) и геостационарных (ГССПС) космических аппаратов, оснащенных оборудованием для обработки и/или ретрансляции



сигналов аварийных радиомаяков на частоте 406 МГц. Ее состав постепенно пополняется, а используемые средства связи совершенствуются. КОСПАС-САРСАТ ежегодно обеспечивает спасение тысяч человеческих жизней и во многих странах является составной частью национальной инфраструктуры поиска и спасания.

Радиомаяки и радиобуи КОСПАС-САРСАТ используются в случае чрезвычайной ситуации для подачи аварийных сигналов, а также для оперативной радиопеленгации поисково-спасательными службами терпящих бедствие – ближнего определения – когда уже известен квадрат поиска, но по какой-то причине не уточнены координаты.

Обслуживается три типа радиомаяков:

- авиационные;
- морские;
- персональные.

В случае бедствия АРБ активируются в зависимости от модели автоматически или вручную. После активации они излучают радиопосылку мощностью 5 Вт и длительностью ~0.5 с каждые 50 секунд. Она содержит в цифровом виде: данные о стране регистрации, идентификационный номер радиобуя, сообщение вида бедствия и, если используется модель с навигационным приемником, вычисленные географические координаты.

Структура системы:

- космический сегмент;
- сеть станций приема и обработки информации (СПОИ);
- сеть координационных центров системы (КЦС);
- аварийные радиобуи (АРБ).

### **Космический сегмент**

Спутники на низкой и геостационарной орбитах (в режиме реального времени наблюдают поверхность Земли 24 часа в сутки 7 дней в неделю, в случае обнаружения аварийных сигналов, они обрабатывают их и передают

на Станции приема и обработки информации. Радиоконтроль осуществляется в диапазоне частот 406,0–406,1 МГц.

Глобальность обслуживания обеспечивается тем, что бортовой компьютер космических аппаратов способен не только однократно получать и передавать сигналы на Землю, но и ретранслировать их многократно, сохраняя в собственной памяти. Спутники на низких орбитах в течение дня совершают до 18 витков вокруг Земли, траектория их движения проходит над разными регионами, во многих из них расположены пункты приема космической информации. Местоположение каждого аварийного радиомаяка, таким образом, может быть определено всеми функционирующими наземными станциями системы, попавшими в поле радиовещания спутника.

### **Станции приема и обработки информации**

СПОИ осуществляют прием ретранслируемых космическим сегментом сигналов, определяют местоположение источников и передают информацию соответствующему координационному центру.

Для повышения точности во время каждого сеанса связи производится уточнение параметров орбиты: в системе создана сеть высокостабильных орбитографических маяков, координаты которых известны с высокой точностью.

Каждая СПОИ периодически проводит самодиагностику.

### **Координационные центры**

Функции координационных центров — сбор данных с собственных СПОИ и обмен информацией с другими КЦС и поисково-спасательными службами. Взаимодействие осуществляется в соответствии с правилами, согласованными на международном уровне, в частности, в рамках ИМО и ИКАО.

КЦС устанавливаются в каждой стране, имеющей хотя бы одну СПОИ. В России четыре СПОИ сходятся в московский КЦС.

Технологии **дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ)** из космоса — незаменимый инструмент изучения и постоянного мониторинга нашей

планеты, помогающий эффективно использовать и управлять ее ресурсами. Современные технологии ДЗЗ находят применение практически во всех сферах нашей жизни.

Изображения, передаваемые спутниками дистанционного зондирования Земли, находят применение во многих отраслях — сельском хозяйстве, геологических и гидрологических исследованиях, лесоводстве, охране окружающей среды, планировке территорий, образовательных, разведывательных и военных целях. Космические системы ДЗЗ позволяют за короткое время получить необходимые данные с больших площадей (в том числе труднодоступных и опасных участков).

**Сферы применения данных дистанционного зондирования Земли:**

- обновление топографических карт;
- обновление навигационных, дорожных и других специальных карт;
- прогноз и контроль развития наводнений, оценка ущерба;
- оценка ущерба от лесных пожаров;
- наблюдение за ледовой обстановкой;
- природоохранный мониторинг.

**Контрольные вопросы:**

- для чего предназначена система поиска и спасания КОСПАС-САРСАТ;
- какие три типа радиомаяков обслуживаются системой КОСПАС-САРСАТ;
- перечислите структуры системы КОСПАС-САРСАТ;
- назовите сферы применения дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

**Домашнее задание**

**Задание №37.** Подготовиться к устному опросу по теме «Орбитальная группировка»:

- какие страны участвуют в проекте КОСПАС-САРСАТ;

- какая ключевая задача проекта КОСПАС-САРСАТ;
- назовите отрасли применения дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

## Урок №36

### Теоретический материал

Спутники ГЛОНАСС находятся на средневысотной круговой орбите на высоте 19 400 км с наклоном  $64,8^\circ$  и периодом 11 часов 15 минут. Такая орбита оптимальна для использования в высоких широтах (северных и южных полярных регионах), где сигнал GPS плохо ловится. Спутниковая группировка развёрнута в трёх орбитальных плоскостях, с 8 равномерно распределёнными спутниками в каждой. Для обеспечения глобального покрытия необходимы 24 спутника, в то время как для покрытия территории России необходимы 18 спутников. Сигналы передаются с направленностью  $38^\circ$  с использованием правой круговой поляризации, мощностью 316—500 Вт.

Для определения координат приёмник должен принимать сигнал как минимум четырёх спутников и вычислить расстояния до них. При использовании трёх спутников определение координат затруднено из-за ошибок, вызванных неточностью часов приёмника.

МКСР «Луч» - спутниковая система ретрансляции для обеспечения связи с движущимися объектами вне зон видимости с российской территории.

МКСР «Луч» предназначена для информационного обеспечения объектов ракетно-космической техники (РКТ). МКСР «Луч» обеспечивает:

- ретрансляцию данных с Международной космической станции;
- ретрансляцию сигналов СДКМ МГНС ГЛОНАСС;
- ретрансляцию информации системы КОСПАС-САРСАТ;
- ретрансляцию телеметрической информации с ракет-носителей/разгонных блоков;
- ретрансляцию информации с космических аппаратов дистанционного зондирования Земли;

- ретрансляцию данных Росгидромета;
- ретрансляцию данных с низкоорбитальных космических аппаратов;
- ретрансляцию телепрограмм, новостей, телерепортажей, видеоконференцсвязь.

МСПСС «Гонец-Д1М» - российская многофункциональная система персональной спутниковой связи, построенная на базе низкоорбитальных космических аппаратов. Назначением системы является оказание услуг связи в глобальном масштабе.

Основным назначением системы «Гонец» является обеспечение связью зон вне покрытия наземными сетями GSM, предоставление связной среды для российской системы координатно-временного обеспечения ГЛОНАСС и связь со стационарными и мобильными абонентами, находящимися в труднодоступных регионах.

Абонент системы «Гонец-Д1М» имеет возможность отправлять и получать текстовые сообщения неограниченного объёма, используя абонентский терминал «Гонец».

В качестве адресатов могут выступать адреса электронной почты, абоненты мобильных сетей связи или абоненты спутниковой сети «Гонец».

Оборудование и программное обеспечение космических аппаратов и абонентских терминалов (АТ) спроектировано таким образом, что для работы системы не требуется непрерывное нахождение абонентов в зоне радиовидимости космического аппарата (КА). При отсутствии совместной зоны радиовидимости АТ и КА сообщение буферизуется и передаётся при пролёте одного из КА системы над абонентом.

В данное время на базе системы «Гонец» реализованы следующие услуги:

- обмен сообщениями между абонентами системы «Гонец» в глобальном масштабе;
- передача данных о местоположении объектов, полученных с использованием системы ГЛОНАСС или других навигационных систем;

- обмен сообщениями между абонентами системы «Гонец» и абонентами стандартной электронной почты как в персональном, так и в групповом режимах, по стандартным почтовым протоколам X.400 и SMTP/IMAP, с возможностью отправки прикрепленных файлов небольших размеров.

- обмен сообщениями между абонентами системы «Гонец» и абонентами мобильных сетей связи в глобальном масштабе (на 01.12.2017 в списке платных услуг была заявлена передача SMS сообщений только на/от Российских мобильной сетей связи). Терминал «Гонец» автоматически выбирает спутниковую или наземную мобильную сеть в зависимости от доступности на текущий момент;

- циркулярная передача сообщений группе пользователей;

- передача телеметрической (датчиковой) информации контролируемых объектов в центры мониторинга;

- построение ведомственных подсистем связи.

### Задания на уроке

#### Практическая работа №15

1. На основе теоретического материала составьте сравнительную таблицу орбитальных группировок ГЛОНАСС, МКСР «Луч», МСПСС «Гонец-Д1М».

п/п	ГЛОНАСС	МКСР «Луч»	МСПСС «Гонец-Д1М»
Назначение			
Состав группировки			
Тип орбиты			
Высота орбиты			
Покрытие земного шара			
Масса			

2. Составьте таблицу с преимуществами и недостатками ГЛОНАСС, МКСР «Луч», МСПСС «Гонец-Д1М».

п/п	ГЛОНАСС	МКСР «Луч»	МСПСС «Гонец-Д1М»
-----	---------	------------	-------------------

Преимущества			
Недостатки	...	...	...

### Домашнее задание

Задание №38.подготовиться к устному опросу по теме «Орбитальная группировка»:

- назовите основные характеристики МКСР «Луч»;
- что входит в состав наземной инфраструктуры МКСР «Луч»?
- что является основным назначением МСПСС «Гонец-Д1М»?

### Урок №37

Теоретический материал

Система КОСПАС-САРСАТ предоставляет для органов поиска и спасения (SAR) аварийные сообщения и информацию о местоположении по всему миру морских, авиационных и наземных пользователей, находящихся в бедственной ситуации. В состав системы входят:

Спутники низкоорбитального сегмента (LEOSAR), спутники геостационарного сегмента (GEOSAR) и спутники среднеорбитального сегмента (MEOSAR), которые обрабатывают и/или ретранслируют сигналы, передаваемые аварийными радиобуями.

Наземные станции приема и обработки информации (СПОИ), называемые также «локальными терминалами пользователей» (LUT), которые обрабатывают сигналы спутников с целью определения местоположения радиобуев.

Координационные центры системы (КЦС), также называемые центрами управления работой системы (МСС), которые распределяют информацию о бедственных ситуациях органам SAR.

Система КОСПАС-САРСАТ детектирует и определяет местоположение только радиобуев 406 МГц. 1 февраля 2009 г. была прекращена спутниковая обработка сигналов 121,5/243 МГц.

Система КОСПАС-САРСАТ 406 МГц включает в себя:

- радиобуи 406 МГц на борту морских судов (АРБ=EPiRBs), воздушных судов (АРМ=ELTs) или используемые в качестве персональных радиобуев (ПРБ=PLBs);

- приполярные низкоорбитальные спутники системы НССПС и геостационарные спутники системы ГССПС; и

- СПОИ для спутниковых систем (НИОСПОИ для системы НССПС и ГЕОСПОИ для системы ГССПС).

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) - наблюдение поверхности Земли наземными, авиационными и космическими средствами, оснащёнными различными видами съёмочной аппаратуры. Рабочий диапазон длин волн, принимаемых съёмочной аппаратурой, составляет от долей микрометра (видимое оптическое излучение) до метров (радиоволны). Методы зондирования могут быть пассивные, то есть использующие естественное отраженное или вторичное тепловое излучение объектов на поверхности Земли, обусловленное солнечной активностью, и активные - использующие вынужденное излучение объектов, инициированное искусственным источником направленного действия. Данные ДЗЗ, полученные с космического аппарата (КА), характеризуются большой степенью зависимости от прозрачности атмосферы. Поэтому на КА используется многоканальное оборудование пассивного и активного типов, регистрирующее электромагнитное излучение в различных диапазонах.

Аппаратура ДЗЗ первых КА, запущенных в 1960-70-х гг. была трассового типа - проекция области измерений на поверхность Земли представляла собой линию. Позднее появилась и широко распространилась аппаратура ДЗЗ панорамного типа - сканеры, проекция области измерений на поверхность Земли которых представляет собой полосу.

Космические аппараты дистанционного зондирования Земли используются для изучения природных ресурсов Земли и решения задач метеорологии. КА для исследования природных ресурсов оснащаются в



основном оптической или радиолокационной аппаратурой. Преимущества последней заключаются в том, что она позволяет наблюдать поверхность Земли в любое время суток, независимо от состояния атмосферы.

### Задания на уроке

#### Практическая работа №16

1. На основе теоретического материала составьте сравнительную таблицу орбитальных группировок КОСПАС-САРСАТ, Дистанционного зондирования Земли.

п/п	КОСПАС-САРСАТ	Дистанционное зондирование земли
Назначение		
Состав группировки		
Структура системы		
Страны-участники	...	...

2. Составьте таблицу с преимуществами, недостатками, перспективами развития КОСПАС-САРСАТ, Дистанционного зондирования Земли.

п/п	КОСПАС-САРСАТ	Дистанционное зондирование земли
Преимущества		
Недостатки		
Перспективы развития	...	...

### Домашнее задание

Задание №39.подготовиться к устному опросу по теме «Орбитальная группировка»:

- что входит в структуру системы КОСПАС-САРСАТ?
- какие функции выполняют координационные центры системы?
- какие типы маяков обслуживает система?

### Тема №16. «Программа «Сфера»

#### Урок №38

Теоретический материал

Основным российским проектом в области прикладной космонавтики в ближайшее десятилетие станет программа «Сфера». Благодаря ей, страна получит самую современную систему коммуникаций, включающую как существующую, так и перспективную космическую инфраструктуру. В результате будут созданы интегрированные сервисы для развития всех отраслей экономики страны. Вряд ли сегодня можно встретить человека, который никогда в своей жизни не сталкивался с цифровыми технологиями. Удаленные сервисы и электронные услуги окружают нас повсюду — на работе, на отдыхе, в быту. Без них уже нельзя обойтись в ежедневном потоке забот. Записаться в поликлинику, оплатить налоги и коммунальные услуги, проложить маршрут поездки — сегодня это можно сделать дистанционно, или, как говорят, в «один клик». Но все перечисленное лишь видимая часть цифровизации.

Глубина погружения в новую реальность, хотим мы того или нет, продолжается. Не будет большим преувеличением сравнить масштаб и скорость процессов в этой области с индустриализацией 1930-х годов. И если раньше облик государства определялся промышленным потенциалом, то в последнее время на первый план выходит уровень развития информационных технологий. Здесь концентрируются капиталы, таланты и прочие ресурсы, поскольку именно в этом направлении человечество ожидает новых прорывов.

Идея объединить в единую программу разнородные услуги, в основе которых лежат возможности космической связи, дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и навигации, была высказана группой российских специалистов несколько лет назад. Все предыдущие попытки привести разные системы к единому знаменателю оказывались, по сути, либо несвоевременными, либо оторванными от реальных потребностей. В последние же годы актуальность проекта стала очевидна всем, кто наблюдает за технологическими трендами и динамикой развития страны. При этом анализ мирового опыта привел к выводу, что идти по стопам конкурентов нет резона, нужны свежие подходы и предложения.

Основателем программы «Сфера» можно назвать первого заместителя генерального директора по развитию орбитальной группировки и перспективным проектам Госкорпорации «Роскосмос» Юрия Урличича. Он является первым генеральным конструктором глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС, в 2014–2018 гг.

В составе собранной команды оказались не только видные представители отрасли, но и потенциальные потребители новых космических услуг из крупных структур, таких как Газпром и Росатом. И это закономерно: поскольку «Сфера» интегрируется едва ли не во все значимые хозяйственные процессы в стране, важно было знать, что о новых возможностях думают крупные пользователи. С их участием на начальном этапе и прописывали требования к телекоммуникационным и геоинформационным сервисам. Концепция строилась на основе предложений, анализа российского и международного рынков, спроса потребителей и другой информации.

Разработчики считают: от того, в каком виде «Сфера» будет реализована, во многом зависит, по какому пути пойдет не только российская космонавтика, но и вся экономика. Программа позволит нашей стране выйти на передовые позиции в мире в области связи, навигации, метеорологии, спутникового Интернета, телерадиовещания, дистанционного зондирования и новых услуг, связанных с позиционированием и передачей данных, например, с помощью интернета вещей, а также обеспечить востребованность новых ракет-носителей на внутреннем рынке пусковых услуг.

Проект получался весьма сложным для человека, не погруженного в тему, поскольку предполагал решение огромного спектра задач в интересах большого числа пользователей заявленных систем. В программу вошли, казалось бы, разрозненные проекты, но на самом деле все идеи на начальном этапе были плотно увязаны между собой.

По своему наполнению и функционалу «Сфера» превосходит все космические системы, ранее создававшиеся в нашей стране. Впервые в истории российской, а может быть, и мировой космонавтики появится

возможность соединить воедино услуги связи, передачи данных, навигации и дистанционного зондирования Земли, сделать за счет синергии эти сервисы доступными всем и создать новые конкурентоспособные продукты не только в интересах нашей страны, но и для тиражирования на международном рынке.

### **Контрольные вопросы:**

- назовите основной российский проект в области прикладной космонавтики;
- кто является основателем программы «Сфера»;
- перечислите участников собранной команды программы «Сфера».

### **Домашнее задание**

Задание №40. Подготовиться к устному опросу по теме «Программа «Сфера»:

- что получит человек благодаря использованию программы «Сфера»?
- почему ранее не получалось привести разные системы к одной?
- в каких областях программа «Сфера» позволит нашей стране выйти на передовые позиции?

## **Урок №39**

### **Теоретический материал**

Принципиальным основанием для определения концепции «Сферы» стали, в первую очередь, гуманитарные и социальные соображения. Россия — огромная страна с крайне неравномерным распределением плотности населения. Огромная доля его сосредоточена в европейской части, где подавляющую часть услуг в области телекоммуникаций — голосовой связи, интернета, телевидения — обеспечивают наземные сотовые и оптоволоконные сети.

В крупных городах трафик сотовых сетей постоянно дешевеет, и никто не пользуется спутниковыми телефонами, поскольку это дороже. В отдаленных же уголках многие виды сервисов населению либо недоступны

из-за отсутствия наземной инфраструктуры, либо (в случае космической телефонии) обходятся чрезвычайно дорого. Эту проблему предлагается решить путем интеграции сервисов спутниковых и сотовых операторов: используя в городе возможности соты, потребитель останется на связи, даже выехав за границы ее действия. При этом цена услуги обязательно должна быть доступна массовому потребителю.

Аналогичная ситуация и с технологией дистанционного зондирования. Раньше эта услуга сводилась к получению и интерпретации спутниковых снимков в интересах госорганов, теперь же она с успехом применяется в различных секторах экономики — в нефтегазе, энергетике, сельском и лесном хозяйстве, при строительстве и на транспорте. Выход на массовый рынок будет обеспечиваться за счет развития кооперации с существующими операторами.

«Сфера» способна предоставить широкие возможности для корпоративных клиентов, особенно тех, кто связан с перевозками или имеет производственные активы, разбросанные по всей стране или за ее пределами. Отследить перемещение грузов и пассажиров по железной дороге, морским или автомобильным транспортом, предоставить надежную связь в пути, обеспечить удаленный контроль оборудования и инфраструктуры, проверить работу персонала на объектах, провести разведку природных ресурсов.

Возможны и такие суперсовременные решения, как получение через спутниковые каналы связи визуальной информации с беспилотников и роботизированных систем, обслуживающих опасные производственные объекты в труднодоступной местности, с возможностью корректировки полетного задания беспилотника и доступа к его системам контроля и управления в реальном времени.

«Сфера» представляет большой интерес для общественных и волонтерских организаций, нацеленных на поисковую деятельность.

По масштабам «Сферу» сравнивают с такими зарубежными аналогами, как Starlink и OneWeb, нацеленными на оказание услуг широкополосного Интернета, но это не вполне корректно.

Известно, что Starlink и OneWeb нацелены исключительно на решение задач связи и передачи больших объемов информации. Но очевидно, что в ряде случаев потребителю не нужен дорогостоящий широкополосный интернет. По замыслу разработчиков «Сферы», абонентское оборудование не должно быть тяжелым, сложным и дорогим. Достаточно будет простого недорогого терминала, способного в случае необходимости подключиться к сотовой сети или к спутнику. Последний по массе будет в разы (или даже на порядок) меньше современных аппаратов типа Starlink или OneWeb и значительно дешевле, а орбитальная группировка не будет насчитывать тысячи аппаратов.

Спутниковую связь смогут обеспечить обычные смартфоны, способные работать в связке со спутниковым приемо-передающим устройством. Новая линейка спутникового абонентского оборудования будет включать в себя устройства для работы, например, на общественном и личном транспорте, к которым необходимо будет подключиться по Wi-Fi или работать в локальной сети сотового оператора, а также просто носимые компактные устройства передачи коротких сообщений через спутниковую группировку «Марафон».

К концу 2018 году в Роскосмосе был сформирован департамент программы «Сфера», и работа по проекту вышла на новый уровень.

Уже на начальном этапе было принято решение об организации проектного офиса по программе «Сфера» на базе ЦНИИмаш (входит в состав Госкорпорации «Роскосмос»). В офис вошли не только разработчики, но и представители министерств, которые рассматривали и согласовывали программу.

В проектном офисе на этапе разработки «Сферы» работало до 400 человек, распределенных по 13 рабочим группам. Среди

направлений — развитие клиентских сервисов, группировки космических аппаратов связи и вещания, группировки ДЗЗ, создание систем нового поколения, модернизация и создание наземных комплексов управления, создание интегрированной наземной инфраструктуры, техническое перевооружение, финансово-экономический анализ. Есть отдельные группы по системам высокоскоростной лазерной связи и системной интеграции.

В процессе обсуждения из программы «Сфера», по решению Министерства обороны и Коллегии Военно-промышленной комиссии, была исключена система ГЛОНАСС. Но при этом в общей идеологии использование спутниковой навигации остается, поскольку ГЛОНАСС является неотъемлемой частью российской орбитальной группировки, а все абонентские устройства на уровне потребителя обязательно должны быть интегрированы с навигационными системами. Важность навигации обусловлена тем, что «Сфера» направлена не только на людей, но и на решение задач взаимодействия с роботизированными системами, а там без систем высокоточного позиционирования просто не обойтись.

#### **Контрольные вопросы:**

- какое было принципиальное основание для определения концепции «Сферы»;
- для каких корпоративных клиентов «Сфера» способна предоставить широкие возможности;
- реализация каких суперсовременных решений возможна с использованием программы «Сфера».

#### **Домашнее задание**

Задание №41. Подготовиться к устному опросу по теме «Программа «Сфера»:

- с какими зарубежными аналогами сравнивают «Сферу»;
- каким будет абонентское оборудование по замыслу разработчиков «Сферы»;

- как организован процесс разработки «Сферы» в проектном офисе.

## Урок №40

### Теоретический материал

Основным российским проектом в области прикладной космонавтики в ближайшее десятилетие станет программа «Сфера». Благодаря ей страна получит самую современную систему коммуникаций, включающую как существующую, так и перспективную космическую инфраструктуру. В результате будут созданы интегрированные сервисы для развития всех отраслей экономики страны.

Идея объединить в единую программу разнородные услуги, в основе которых лежат возможности космической связи, дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и навигации, была высказана группой российских специалистов несколько лет назад. Все предыдущие попытки привести разные системы к единому знаменателю оказывались, по сути, либо несвоевременными, либо оторванными от реальных потребностей. В последние же годы актуальность проекта стала очевидна всем, кто наблюдает за технологическими трендами и динамикой развития страны. При этом анализ мирового опыта привел к выводу, что идти по стопам конкурентов нет резона, нужны свежие подходы и предложения.

Основателем программы «Сфера» можно назвать первого заместителя генерального директора по развитию орбитальной группировки и перспективным проектам Госкорпорации «Роскосмос» Юрия Урличича. Он является первым генеральным конструктором глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС, в 2014–2018 гг.

Проект получался весьма сложным для человека, не погруженного в тему, поскольку предполагал решение огромного спектра задач в интересах большого числа пользователей заявленных систем. В программу вошли, казалось бы, разрозненные проекты, но на самом деле все идеи на начальном этапе были плотно увязаны между собой.



По своему наполнению и функционалу «Сфера» превосходит все космические системы, ранее создававшиеся в нашей стране. Впервые в истории российской, а может быть, и мировой космонавтики появится возможность соединить воедино услуги связи, передачи данных, навигации и дистанционного зондирования Земли, сделать за счет синергии эти сервисы доступными всем и создать новые конкурентоспособные продукты не только в интересах нашей страны, но и для тиражирования на международном рынке.

### **Задания на уроке**

#### **Практическая работа №17**

1. Сформулируйте:

- задачи в Арктическом регионе, выполняемые программой «Сфера»;
- перспективы развития программы «Сфера»;
- основные трудности реализации программы.

2. Составьте схему. В центре поместите программу «Сфера», вокруг – системы, службы, услуги с использованием программы «Сфера».

#### **Домашнее задание**

Задание №42. Подготовиться к устному опросу по теме «Программа «Сфера»:

- какие задачи в Арктическом регионе выполняет программа «Сфера»?
- каковы перспективы развития программы «Сфера»?
- назовите основные трудности реализации программы.

### **Урок №41**

Теоретический материал

Спутниковое позиционирование базируется на электронных методах геодезических измерений, в первую очередь на электронной дальнометрии, которая широко используется в наземной геодезии. В случае спутниковых

измерений эти методы претерпели существенные изменения, обусловленные спецификой прохождения сигналов на космических трассах.

С помощью спутниковых приемников определяют расстояние от приемника до спутника. Принцип измерения расстояния аналогичен принципу измерения длин линий наземными свето- и радио-дальномерами. Основной измеряемой величиной в этих дальномерах является время  $\tau$ , затрачиваемое сигналом на прохождение удвоенного расстояния (в прямом и обратном направлениях). Если скорость распространения такого сигнала известна, то измеряемое расстояние определяется по формуле:

$$D = \frac{c\tau}{2}$$

где  $c$  – скорость распространения электромагнитной волны ЭМВ.

Скорость света известна с высокой точностью, обеспечивающей требования высокоточных геодезических измерений: 300 тыс. км/с, в качестве современной оценки скорости света в вакууме принято значение  $c_0 = 299\,792\,458 \pm 1,2$  м/с.

Метод измерения расстояний свето- и радиодальномерами называют двусторонним, т. к. время излучения и приема сигнала регистрируется одними и теми же часами, поэтому не возникает проблемы синхронизации часов.

В спутниковых технологиях находят применение односторонние (беззапросные) методы дальномерных измерений, основная особенность которых состоит в том, что передающее устройство располагают на спутнике, а приемное – на наземном пункте.

При этом сигнал проходит измеряемое расстояние только в одном направлении – от спутника до приемника. Если в этом случае момент излучения и момент приема сигнала зафиксированы точно синхронизированными часами, расположенными на спутнике и приемнике, то измеряемое расстояние  $D$  равно:

$$D = c\tau$$

где  $\tau$  – время прохождения сигналом расстояния от спутника до приемника.

Главной трудностью при определении расстояния от спутника до приемника является точное выделение момента времени, в который проделан радиосигнал со спутника.

### **Задания на уроке**

#### **Практическая работа №18**

Задача:

Определите расстояние от спутника до приемника, если скорость света  $c_0 = 300000000$  м/с, время прохождения сигналом расстояния от спутника до приемника  $\tau = 0,25$  с:

- сигнал проходит измеряемое расстояние только в одном направлении;
- сигнал проходит удвоенное измеряемое расстояние.

### **Домашнее задание**

Задание №43. Подготовиться к итоговому тестированию по ДОП «Навигация».

## **Тема №17. «Итоговое занятие»**

### **Урок 42**

#### **Задание на уроке**

Задание №44. Выполните итоговое тестирование для оценки усвоения пройденного материала по дополнительной общеразвивающей программе «Навигация».