

**Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Географический факультет**

«Утверждено»
Декан географического факультета,
член-корр. РАН С.А. Добролюбов



Согласовано
Учебно-методической комиссией
факультета

«21» марта 2019 г.
протокол № 6
Д.И.И.

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Основы спутникового позиционирования»

по направлению подготовки 05.03.03 «Картография и геоинформатика»
уровня высшего образования бакалавриат
с присвоением квалификации «бакалавр»

Направленность (профиль): общий

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Картография и геоинформатика» (*программы бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки*) в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г.

© Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения факультета.

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель – приобретение общих и специальных знаний о современных глобальных навигационных спутниковых системах (ГНСС), понимания их общественной значимости и практической важности применения в научных и прикладных работах в географии, геодезии, картографии, в других сферах человеческой деятельности.

Задачи освоения дисциплины: изучение теоретических и физико-технических основ ГНСС, современных методов позиционирования с целью определения координат объектов в широком диапазоне точностей в работах, направленных на сбор, систематизацию, обработку и интерпретацию пространственной информации в интересах картографии, геоинформационного картографирования, геодезии и методов дистанционного зондирования земной поверхности.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Основы спутникового позиционирования» включена в вариативную часть ООП, модуль «Основы картографии, геоинформатики и дистанционного зондирования». Дисциплина обязательная и изучается на 2-м курсе в 4-м семестре.

Дисциплина требует знаний по топографии, геодезии, географии, математике, компьютерной технике. Логически она опирается на знания, полученные в курсе «Геодезические основы карт». Изучению данной дисциплины также предшествуют дисциплины: «Математика», «Топография», «Информатика».

Изучение данной дисциплины необходимо для освоения последующих дисциплин модулей «Геоинформатика и геоинформационное картографирование», «Географическое картографирование» и «Аэрокосмическое зондирование», а также для прохождения практик.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

В соответствии с ОС МГУ и «Оценочными и методическими материалами формирования компетенций, оценивания уровня знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности у обучающихся и выпускников» освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций и получение следующих результатов обучения:

Способность использовать знания геодезических и математических основ карт, методов и технологий глобального позиционирования при создании картографических произведений и баз пространственных данных (ПК-6.Б, *формируется частично*)

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать: теоретические основы применения ГНСС в целях научного познания природной среды, определения пространственно-временных характеристик земных объектов в ходе использования картографических и аэрокосмических методов в географических исследованиях, при создании баз данных, обработке материалов дистанционного зондирования и спутникового позиционирования.

Уметь: осуществлять сбор пространственных данных с помощью систем спутникового позиционирования.

Владеть: методами применения ГНСС-приемников в целях позиционирования и методами обработки получаемых результатов.

4. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины и виды учебной работы.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачётные единицы.

Общая аудиторная нагрузка – 39 часов, в т.ч. лекции – 13 часов, семинары – 26 часов.
 Объем самостоятельной работы студентов – 33 академических часа.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	семестр	неделя	Виды учебной работы, включая СРС и трудоемкость (в часах)			Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Контактная работа		СРС	
				лекции	семинары		
1	Введение. Развитие и применение ГНСС	4	1-2	2	4	2	Устный опрос
2	Функциональная схема систем высокоточного позиционирования	4	3-4	2	4	2	Устный опрос
3	Физическо-технические основы позиционирования	4	5-6	2	4	2	Устный опрос
4	Основы спутниковой дальнометрии	4	7-8	2	4	3	Реферат
5	Способы определения координат	4	9-10	2	4	3	Презентация
6	Способы определения пространственных векторов	4	11-13	3	6	3	Отчет по практическим работам
7	Промежуточная аттестация					18	Экзамен
	Итого			13	26	33	

5. Содержание дисциплины

Содержание лекций

Введение. Развитие и применение ГНСС. Терминология в сфере применения ГНСС. Измеряемые параметры и методы местоопределения. Пространственные линейная и разностная геометрические засечки. Импульсные и фазовые методы определения дальностей до спутников. Доплеровские методы измерений. Корреляционный метод определения линейных величин. Беззапросный метод измерения дальностей.

Элементы Кеплеровой орбиты. Определение азимутов и зенитных расстояний направлений на спутники.

История развития глобальных навигационных спутниковых систем. TRANSIT (США), ЦИКАДА (СССР), SECOR (США), GEOLE (Франция), GPS (США), ГЛОНАСС (СССР-РФ), DORIS (Франция), Galileo (Европейский Союз), Compass (КНР). Региональные спутниковые системы QZSS (Япония), Beidou (КНР), IRNSS (Индия). Глобальная геодезических наблюдений система GGOS, включающая спутники всех действующих и проектируемых ГНСС.

Общественная значимость и сферы применения ГНСС. Применение в целях познания ближнего космоса, ионосферы, тропосферы, метеорологических, океанологических, геодинимических и других процессов природной среды; для предупреждения катастрофических землетрясений, использования в сельском хозяйстве, создания и мониторинга координатных систем отсчета, развития разного территориального уровня геодезических сетей, проведения тематических съемок, для развития социально-экономической сферы, медицинского обслуживания, отдыха, туризма, спорта, транспорта, мобильной связи, военного дела и др.

Функциональная схема систем высокоточного позиционирования. Подсистемы наземного контроля и управления, созвездия космических аппаратов и

аппаратуры пользователей. Роль координатной основы и глобальной системы перманентных станций.

Сети станций Международной службы ГНСС (IGS). Их роль в определении стабильности координатной основы и уточнении координат спутников ГНСС.

Орбитальные параметры действующих ГНСС. Количество спутников в системе, число орбитальных плоскостей, наклоны орбит, эксцентриситеты орбит, периоды обращения спутников, угловая скорость обращения спутников, радиус-вектор орбиты, линейная скорость перемещения спутников, средняя высота спутника над Землей, зоны видимости со станции на Земле и со спутника, время нахождения спутника над горизонтом.

Физическо-технические основы позиционирования. Электромагнитные колебания и волны. Когерентные колебания. Поляризация радиоволн. Несущие волны. Модуляция колебаний. Манипуляция фазы. Радиосигналы, передаваемые со спутников. Кодовые сигналы высокой и стандартной точности.

Счет времени в системах спутникового позиционирования. Эфемериды и альманахи. Навигационное послание, его содержание и формат в разных ГНСС.

Задержки сигналов в ионосфере. Фазовая и групповая скорости радиоволн в ионосфере. Зависимость искажений дальностей в ионосфере от интегрального количества электронов (ТЕС) и частоты радиоволны. Использование когерентных колебаний двух частот для исключения задержек в ионосфере.

Задержки сигналов в тропосфере. Показатель преломления радиоволн. Его зависимость от температуры, давления и влажности атмосферы. Модели оценки задержек сигналов в тропосфере: экспоненциальная, Саастамойнена, Хопфилд. Маски по высоте.

Многолучечность. Первая зона Френеля. Формирование отражений. Квазипериодический характер отражений. Рассеянные и сильные отражения. Методы борьбы с многолучечностью. Экраны отражения. Антенны, ослабляющие отражения.

Препятствия на пути распространения радиосигналов. Оценка размеров необходимого свободного пространства для измерений на станции.

Интеграции ГНСС с инерциальными навигационными системами ИНС.

Основы спутниковой дальнометрии. Кодовый корреляционный метод измерения расстояний. Дальности и псевдодальности. Дальномерные коды. Псевдослучайные последовательности. Определения псевдодальностей по кодовым сигналам. Неоднозначность кодового метода определения псевдодальностей и её разрешение..

Фазовый метод измерения дальностей до спутников. Расчетная инструментальная точность фазового метода. Искажения дальностей из-за несинхронности работы элементов спутниковой системы. Неоднозначность фазовых измерений дальностей и способы её разрешения.

Фазовые и кодовые определения дальностей на комбинированных длинах волн. Ослабление влияний погрешностей формированием первых, вторых и третьих разностей фазовых и кодовых измерений дальностей.

Спутниковая аппаратура пользователей. Основные функции спутниковых приемников. Классификации спутниковых приемников. Кодовые приёмники, их особенности, назначение. Кодово-фазовые приёмники. Комплект высокоточной (геодезической) приемной аппаратуры. Антенные устройства. Понятие о фазовой характеристике идеальной и реальной антенны. Фазовый центр и его стабильность. Поправки в определяемые координаты из-за смещения фазового центра с точки, закрепленной на местности. Программное обеспечение спутниковых приемников.

Классификация способов позиционирования. Априорная оценка источников погрешностей при разных способах позиционирования.

Спутниковое нивелирование. Применение гравитационных моделей Земли. Определение нормальных высот по спутниковым данным.

Трансформирование координат. Трансформирование пространственных прямоугольных координат по семи параметрам. Трансформирование координат в координатную систему окружающих пунктов.

Способы определения координат. Абсолютные определения координат по кодовым измерениям. Решение линейной пространственной засечки по псевдодальностям.

Геометрический фактор потери точности. Оценка составляющих геометрического фактора по ковариационной матрице измерений. Оптимальные геометрические условия для измерений. Составляющие геометрического фактора, характеризующие точность положения определяемого пункта в пространстве, на горизонтальной плоскости и по высоте. Количественные и вербальные оценки геометрического фактора. Статистические оценки распределения геометрического фактора в зависимости от количества наблюдаемых спутников и географического места наблюдений.

Абсолютные определения координат по фазовым измерениям. Одночастотный метод. Двухчастотный метод (PPP).

Дифференциальный режим определения координат. Дифференциальные поправки. Служба RTSM. Сетевые локальные, региональные, широкозонные и глобальные дифференциальные уточняющие подсистемы. Широкозонные системы WAAS, EGNOS, MSAS. Глобальные системы GDGPS, StarFire, OmniSTAR. Система дифференциальной коррекции и мониторинга РФ СДКМ.

Способы определения пространственных векторов.

Кинематическое позиционирование. Инициализация. Способы инициализации. Непрерывная кинематика. Способ «стой и иди». Кинематика реального времени (RTK). Топографическая съемка при сочетании способов кинематики с электронными тахеометрами. Сети референцных станций.

Статическое позиционирование. Статика, быстрая статика, псевдостатика. Определение в режимах статики пространственного вектора обработкой по методу наименьших квадратов третьих и вторых разностей. Разрешение неоднозначности фазовых измерений дальностей при статическом позиционировании. Плавные и фиксированные решения.

Построение геодезических сетей по пространственным векторам. Планирование полевых измерений. Лучевой и сетевой методы построения сетей. Основные этапы построения сети.

Уравнивание пространственных векторных геодезических сетей. Роль избыточных измерений. Выбор весов. Составление уравнений условий при коррелятном уравнивании. Составление уравнений поправок при параметрическом уравнивании. Нормальные уравнения и их решение.

План проведения семинаров

Семинары проводятся в интегрированной форме с лекциями. Изложенный теоретический материал иллюстрируется на конкретных примерах. В тех случаях, когда это возможно, рассматриваются способы решения типовых задач. В завершение некоторые из типовых задач решаются студентами самостоятельно.

Примерные темы решения типовых задач

1. Кинематическое позиционирование.

2. Статическое позиционирование.
3. Обработка результатов позиционирования.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по дисциплине

Самостоятельное изучение материалов с использованием предлагаемой литературы. Самостоятельное изучение инструментария для решения задач.

7. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости

Примерные темы рефератов и презентаций самостоятельной работы студентов

1. ГНСС как социальное явление.
2. География и ГНСС.
3. Терминология в глобальных системах навигации и позиционирования.
4. Функциональная схема высокоточного позиционирования.
5. Орбитальные параметры действующих систем позиционирования.
6. Кодовый корреляционный метод измерения расстояний.
7. Неоднозначность фазовых измерений дальностей и способы её разрешения.
8. Влияние внешней среды на результаты позиционирования.
9. Спутниковые приёмники, их функции и классификация.
10. Широкозонные и глобальные дифференциальные уточняющие подсистемы.
11. Относительные способы позиционирования.
12. Сети референцных станций и их назначение.

Перечень контрольных вопросов для устного опроса

1. Для чего предназначены альманах и эфемериды?
2. Чем различаются радиосигналы ГЛОНАСС и GPS?
3. Какие причины появления релятивистского эффекта и как его устраняют?
4. Что понимают под целостностью системы? Как она обеспечивается?
5. Чему равна разность фаз местных и принятых от спутника волн?
6. Чему равен доплеровский сдвиг частоты?
7. Как, какие и для чего образуют комбинированные волны?
8. Какие существуют способы разрешения неоднозначности фазовых измерений?
9. Какие искажения претерпевает сигнал на пути от передатчика на спутнике до приемного устройства пользователя?
10. Что характеризуют фазовая и групповая скорости радиоволн в ионосфере?
11. От чего зависят ионосферные искажения? Их величина?
12. Почему измеряют на двух когерентных волнах, например на L1 и L2?
13. Чем определяется скорость радиоволн в тропосфере?
14. Почему не наблюдают космические аппараты ниже 10 градусов над горизонтом?
15. Что происходит с волной при её отражении от земной поверхности?
16. Как изменяются искажения из-за многолучевости при движении спутника?
17. Высота антенны 1,5 м, высота зданий 30 м. На каком удалении здания не будут препятствовать прохождению сигналов при маске 10 градусов?
18. Почему целесообразно проектировать геодезическую сеть, в которой пространственные вектора образуют замкнутые фигуры?
19. Для чего комплексируют спутниковые приемники с электронными тахеометрами?
20. Что дает интеграции ГНСС с инерциальными навигационными системами ИНС.

8. Формы и содержание промежуточной аттестации

Устный экзамен.

При отсутствии у обучающегося отчета по одной или нескольким практическим работам на экзамене студенту предоставляется возможность выполнить весь объем учебной работы до ответа по экзаменационному билету в пределах нормативного времени, отведенного на прием устного экзамена (до 30 минут на одного обучающегося). При невыполнении указанного условия, учебный план считается невыполненным, обучающемуся выставляется оценка «неудовлетворительно».

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Координатные системы отсчёта, используемые GPS и ГЛОНАСС.
2. Счет времени в ГНСС.
3. Элементы кеплеровой орбиты и их назначение.
4. Эфемериды и альманах, их назначение.
5. Подсистемы ГНСС.
6. Сравнительная характеристика действующих ГНСС.
7. Навигационные послания, их содержание и форматы в GPS и ГЛОНАСС.
8. Классификация спутниковых приемников по назначению и по конструктивным особенностям.
9. Сравнительная характеристика известных способов позиционирования.
10. Абсолютный режим позиционирования и его точность.
11. Геометрическая сущность абсолютного способа позиционирования.
12. Геометрический фактор и его составляющие, характеризующие точность положения определяемого пункта.
13. Псевдослучайные последовательности, формирование кодовых сигналов.
14. Дифференциальный режим позиционирования и его точность.
15. Уточняющие дифференциальные подсистемы и их классификация.
16. Фазовый метод измерений в системах спутникового позиционирования.
17. Неоднозначность измерений фазовых дальностей.
18. Способы разрешения неоднозначности фазовых измерений дальностей.
19. Формирование разностей результатов фазовых измерений дальностей.
20. Планирование полевых измерений.
21. Статическое позиционирование и его разновидности.
22. Кинематическое позиционирование и его разновидности.
23. Способы инициализации при кинематическом позиционировании.
24. Влияние ионосферы на точность позиционирования.
25. Влияние тропосферы на точность позиционирования.
26. Многолучевость.
27. Физические препятствия на пути распространения радиосигналов ГНСС.
28. Трансформирование координат из одной системы отсчёта в другую.
29. Понятие об уравнивании пространственных векторов в геодезических сетях, построенных статическим позиционированием.

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО)

Оценка	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
РО и соответствующие виды оценочных средств				
Знания (виды оценочных средств: устные опросы, реферат)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания

Умения (виды оценочных средств: презентации, практические задания)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения, опыт деятельности) (виды оценочных средств: практические задания)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

Генике А.А., Побединский Г.Г. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии. Изд. 2-е, перераб. И доп. — М.: Картгеоцентр, 2004. –355 с.

Серапинас Б. Б. Основы спутникового позиционирования. Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Географический факультет МГУ, 2012. – 256 с.

Жуков А. В., Серапинас Б. Б. Практикум по спутниковому позиционированию /Под ред. Ю. Ф. Книжникова. Учебное пособие. – М.: Географический факультет МГУ, 2002. – 120 с.

б) дополнительная литература:

Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В двух томах. Т.1. – М.: ФГУП “Картгеоцентр”, 2005. 334 с.

Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В двух томах. Т.2. – М.: ФГУП “Картгеоцентр”, 2006. 360 с.

Герасимов А.П. Спутниковые геодезические сети. – М.: ООО «Проспект». 2012. - 176 с.

ГОСТ Р 51794–2008. Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. Издание официальное. – М.: Стандартинформ, 2009. -16 с.

Евстафьев О.В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования / под ред. В.В. Грошева. – М.: «Издательство «Проспект», 2009. – 48 с.

Курошев Г.Д. Космическая геодезия и глобальные системы позиционирования. Учеб. пособие. –СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та. 2011. -182 с.

Манухов В.Ф., Разумов О.С., Спиридонов А.И., Тюряхин А.С. Спутниковые методы определения координат пунктов геодезических сетей. Учеб. пособие. Изд. 2-е, исправ. и доп. – Саранск.: Изд-во Мордовского ун-та. 2011, -128 с.

Серапинас Б.Б. Системы спутникового позиционирования – научная и социальная значимость //Сб. Современная географическая картография. – М.: Дата+ 2012. С. 49-60.

Серапинас Б.Б. Глобальные системы навигации и позиционирования // Геопрофи. 2010. № 2, с. 60-65

Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. -М.: Эко–Трендз, 2000. -268 с.

Leick, A., GPS Satellite Surveying. 3rd edition. - New Jersey. John Wiley & Sons, 2004, - 464 p.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы
Leica Geo Office (не ниже версии 8); RTKLIB (не ниже версии 2.4.3); NotePad++
Международная служба вращения Земли и систем отсчета (International Earth Rotation and Reference Systems Service). <http://www.iers.org/>
Международная служба ГНСС (The International GNSS Service - IGS).
<http://igsceb.jpl.nasa.gov/>
Международная отчетная основа ITRF 2008.
http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2008/
ФГУП НТИЦ «Интернавигация». Российский навигационный сервер.
<http://www.internavigation.ru/>
Федеральное космическое агентство, Информационно-аналитический центр.
<http://www.glonass-ianc.rsa.ru/>
European Space Agency (ESA) – Navigation. <http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>
Global Positioning System Overview.
<http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps.html>
Данные базовых станций ГНСС: IGS <http://www.igs.org/>,
Данные базовых станций ГНСС: SOPAC Data
Browser <http://sopac.ucsd.edu/dataBrowser.shtml>

10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Компьютерный класс с доступом в Интернет. Спутниковая приемная аппаратура и её программное обеспечение.

11. Контролирующие материалы по дисциплине (ФОС)

Тесты контроля остаточных знаний по дисциплине

- 1) Точные эфемериды орбит спутников GPS становятся доступны пользователю через:
 - A. Одну неделю
 - B. Три недели
 - C. Месяц
 - D. Два месяца
- 2) Разрешение фазовой неоднозначности происходит во время:
 - A. Вычисления третьих разностей;
 - B. Инициализации;
 - C. Постобработки;
 - D. Получения дифференциальных поправок.

Программа одобрена на заседании кафедры картографии и геоинформатики.

Зав. кафедрой



И.К. Лурье

Разработчик:

Ильясов Аскар
Кургамысович

старший научный
сотрудник

МГУ имени М.В.Ломоносова,
географический факультет, кафедра
картографии и геоинформатики

Эксперт:

Аляутдинов
Али
Раисович

старший научный
сотрудник

МГУ имени М.В.Ломоносова,
географический факультет, кафедра
картографии и геоинформатики