

-500730-

Б А К А Л А В Р И А Т

*В.М. Власов, Б.Я. Мактас,
В.Н. Богумил, И.В. Конин*

**БЕСПРОВОДНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
НА АВТОМОБИЛЬНОМ
ТРАНСПОРТЕ**

*Глобальная навигация
и определение местоположения
транспортных средств*

У Ч Е Б Н О Е П О С О Б И Е



ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ – БАКАЛАВРИАТ

серия основана в 1996 г.



Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ)

В.М. ВЛАСОВ, Б.Я. МАКТАС, В.Н. БОГУМИЛ, И.В. КОНИН

БЕСПРОВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ

ГЛОБАЛЬНАЯ НАВИГАЦИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

*Допущено
Федеральным УМО в системе высшего образования
по укрупненной группе направлений подготовки
23.00.00 «Техника и технологии наземного транспорта»
в качестве учебного пособия для обучающихся по направлениям
«Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»
(квалификация (степень) «бакалавр», «магистр»),
«Технология транспортных процессов»
(квалификация (степень) «магистр»)*

znanium.com

электронно-библиотечная система

Москва
ИНФРА-М
2024

УДК 629(075.8)

ББК 39.3я73

В58

Рецензенты:

Илюхин А.В., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация производственных процессов» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета;

Лахтина Н.Ю., кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортная телематика» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета

Власов В.М.

В58 Беспроводные технологии на автомобильном транспорте. Глобальная навигация и определение местоположения транспортных средств : учебное пособие / В.М. Власов, Б.Я. Мактас, В.Н. Богумил, И.В. Конин. — Москва : ИНФРА-М, 2024. — 184 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — DOI 10.12737/textbook_591aea600e5f05.45330352.

ISBN 978-5-16-012733-0 (print)

ISBN 978-5-16-105816-9 (online)

В учебном пособии подробно описана технология спутниковой навигации в применении к задачам мониторинга и контроля движения автомобильного транспорта. Рассмотрена технология определения местоположения, используемая в навигационных приемниках для автомобильного транспорта. Изложена технология глобальной спутниковой навигации, включая вопросы формирования и обработки навигационных сигналов. Даны сравнительные характеристики двух действующих глобальных навигационных спутниковых систем — ГЛОНАСС и GPS. Рассмотрены вопросы измерения времени в спутниковой навигационной системе. Показано влияние погрешности часов приемника на точность измерения местоположения объекта.

Соответствует требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования последнего поколения.

Для студентов, обучающихся по техническим направлениям и специальностям.

УДК 629(075.8)

ББК 39.3я73

ISBN 978-5-16-012733-0 (print)
ISBN 978-5-16-105816-9 (online)

© Власов В.М., Мактас Б.Я.,
Богумил В.Н., Конин И.В., 2017

Оглавление

Авторский коллектив.....	3
Список сокращений	4
Предисловие.....	8
Введение	11
Глава 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМАХ ГЛОНАСС И GPS.....	18
1.1. Краткая история создания и развития спутниковых навигационных систем.....	18
1.2. Назначение и принцип действия спутниковых систем радионавигации ГЛОНАСС и GPS	23
1.3. Аппаратура спутников, используемых в глобальных навигационных системах	25
1.4. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Общие сведения	29
1.5. Глобальная навигационная спутниковая система GPS. Общие сведения	34
1.6. Сравнительные характеристики систем ГЛОНАСС и GPS	37
<i>Контрольные вопросы</i>	39
Глава 2. ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ.....	40
2.1. Принципы навигационных определений в глобальных навигационных спутниковых системах	40
2.2. Синхронизация бортовых часов навигационных спутников и часов потребителей.....	45
2.2.1. Влияние синхронизации часов на точность определения местоположения объекта.....	45
2.2.2. Синхронизация бортовых часов навигационных спутниковых часов потребителей.....	45
2.3. Решение задачи определения местоположения объекта	51
2.4. Погрешности навигационных решений спутниковых систем	58
<i>Контрольные вопросы</i>	71
Глава 3. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ГЛОБАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ	72
3.1. Структура сигналов и сообщений в Глобальных навигационных спутниковых системах	72
3.2. Определение времени распространения сигнала	74
3.2.1. Дальномерные (псевдослучайные) коды.....	74
3.2.2. Формирование M-последовательностей	77
3.2.3. Выделение дальномерного кода на фоне радишума.....	79
3.3. Устройство и работа навигационного приемника	82
3.4. Измерение транзитного времени сигналов	99
3.5. Потери при приеме сигнала.....	103
3.6. Эфемеридная информация и данные альманаха. Общие положения	104

3.7. Часы спутников и шкалы времени Глобальных навигационных спутниковых систем.....	108
3.7.1. Общие положения.....	108
3.7.2. Формирование сигналов в квантовых стандартах частоты.....	109
3.7.3. Шкалы времени, используемые в ГНСС.....	112
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	113

Глава 4. ГЛОБАЛЬНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА GPS. ФОРМИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ В СИСТЕМЕ GPS 115

4.1. Назначение, структура и состав сигналов навигационных спутников GPS.....	115
4.1.1. Назначение системы и основные решаемые задачи.....	115
4.1.2. Состав сигналов навигационных спутников GPS.....	116
4.1.3. Несущие частоты GPS.....	117
4.1.4. Службы стандартного и точного позиционирования	118
4.2. Основные характеристики дальномерных кодов GPS.....	119
4.2.1. Три вида псевдослучайных дальномерных кода.....	119
4.2.2. Структура C/A-, P- и Y-кодов	123
4.3. Модуляция GPS сигнала.....	125
4.3.1. Модуляции частот L1 и L2	125
4.3.2. Схема формирования сигнала на частоте L1	126
4.4. Структура навигационного сообщения GPS.....	127
4.4.1. Навигационные сообщения GPS	127
4.4.2. Кадры TLM и HOW	130
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	131

Глава 5. ГЛОБАЛЬНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА ГЛОНАСС..... 132

5.1. Навигационные сигналы и навигационные сообщения	132
5.1.1. Общие положения.....	132
5.1.2. Структура навигационных сигналов ГЛОНАСС	133
5.1.3. Два типа навигационных сигналов системы ГЛОНАСС	134
5.1.4. Метки времени	136
5.2. Структура информации в навигационном сообщении навигационных космических аппаратов ГЛОНАСС	137
5.2.1. Оперативная информация навигационного сообщения (эфемериды).....	137
5.2.2. Неоперативная информация навигационного сообщения, альманах системы ГЛОНАСС	139
5.3. Структура и содержание навигационного сообщения ГЛОНАСС	140
5.3.1. Субкадр навигационного сообщения.....	140
5.3.2. Кадр навигационного сообщения.....	142
5.3.3. Структура информационной строки в кадре.....	143
5.4. Формирование дальномерных кодов и навигационных сообщений ГЛОНАСС	145
5.4.1. Характеристики модулирующей последовательности ГЛОНАСС.....	145
5.4.2. Схема формирования дальномерного кода ГЛОНАСС	145
5.4.3. Схема формирования навигационного сообщения ГЛОНАСС.....	146
5.5. Частотный план радиосигналов ГЛОНАСС	149
5.5.1. Распределение частот на двух частотных поддиапазонах.....	149
5.5.2. Мощность радиосигналов, принимаемых приемником потребителя.....	151

5.6. Время системы ГЛОНАСС	151
5.7. Система координат, используемая в системе ГЛОНАСС.....	153
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	154
Библиографический список	156
<i>Основная литература</i>	156
<i>Дополнительная литература</i>	157
Приложения	159
Приложение 1. Англо-русский толковый словарь терминов	159
Приложение 2. Псевдослучайные последовательности	163
Приложение 3. Антенны навигационных приемников	167
Приложение 4. Энергетическая эффективность псевдокода	172
Приложение 5. Режимы измерений глобальных спутниковых систем. Кодовые и фазовые измерения	175
Приложение 6. Водородный генератор частоты	179

По вопросам приобретения книг обращайтесь:
Отдел продаж «ИНФРА-М» (оптовая продажа):
127214, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1
Тел. (495) 280-33-86 (доб. 218, 222)
E-mail: bookware@infra-m.ru

•
Отдел «Книга—почтой»:
тел. (495) 280-33-86 (доб. 222)

ФЗ Издание не подлежит маркировке
№ 436-ФЗ в соответствии с п. 1 ч. 4 ст. 11

Учебное издание

**Власов Владимир Михайлович,
Мактас Борис Яковлевич,
Богумил Вениамин Николаевич,
Конин Игорь Валентинович**

БЕСПРОВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ. ГЛОБАЛЬНАЯ НАВИГАЦИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Оригинал-макет подготовлен в НИЦ ИНФРА-М
ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»
127214, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1
Тел.: (495) 280-15-96, 280-33-86. Факс: (495) 280-36-29
E-mail: books@infra-m.ru <http://www.infra-m.ru>

Подписано в печать 08.11.2023.
Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Newton.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 11,5.
ППТ30. Заказ № 37087

ТК 649805-2126275-170517

Отпечатано в типографии ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»
127214, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1
Тел.: (495) 280-15-96, 280-33-86. Факс: (495) 280-36-29