

В. В. Каретников, Д. Ф. Миляков, С. Ф. Шахнов

1543481

**ПРИМЕНЕНИЕ
ГЛОБАЛЬНЫХ
НАВИГАЦИОННЫХ
СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ
НА ВНУТРЕННИХ
ВОДНЫХ ПУТЯХ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

НАУКА

Государственный университет
морского и речного флота
имени адмирала С. О. Макарова

В. В. Каретников, Д. Ф. Миляков, С. Ф. Шахнов

**ПРИМЕНЕНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ
НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ
СИСТЕМ НА ВНУТРЕННИХ
ВОДНЫХ ПУТЯХ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

Санкт-Петербург
«Наука»
2021

УДК 629.5.051
ББК 32.95
К22



Каретников В. В., Миляков Д. Ф., Шахнов С. Ф. Применение глобальных навигационных спутниковых систем на внутренних водных путях Российской Федерации. — СПб.: Наука, 2021. — 287 с.

ISBN 978-5-02-040304-8

В монографии рассмотрены принципы построения и функционирования глобальных навигационных спутниковых систем и их функциональных дополнений. Подробно описаны дифференциальные подсистемы СВ/ДВ-диапазона, применяемые на ВВП РФ для повышения безопасности судоходства. Приведен математический аппарат расчета зон действия таких систем с учетом особенностей распространения радиоволн, негативного влияния различного рода помех и применяемых методов борьбы с ними для повышения функциональной устойчивости радиоканалов.

В заключительной части монографии предложена концепция построения системы мониторинга и управления дифференциальным полем ГНСС на ВВП РФ.

Монография представляет интерес для научных работников и инженеров, работающих в области радиосвязи, студентов и курсантов соответствующих специальностей.

Издание осуществлено при финансовой поддержке
Государственного университета морского и речного флота
имени адмирала С. О. Макарова

© Каретников В. В., Миляков Д. Ф.,
Шахнов С. Ф., 2021

© Редакционно-издательское оформ-
ление. Издательство «Наука», 2021

ISBN 978-5-02-040304-8

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Глава 1. Глобальные навигационные спутниковые системы и их функциональные дополнения	9
1.1. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС	9
1.1.1. Общая характеристика ГНСС ГЛОНАСС.	10
1.1.2. Подсистема космических аппаратов	12
1.1.3. Наземный комплекс управления	18
1.1.4. Навигационные сигналы	22
1.1.5. Радионавигационное поле	25
1.1.6. Принцип функционирования	27
1.1.7. Точностные характеристики	31
1.1.8. Контроль целостности радионавигационного поля	34
1.1.9. Перспективы развития ГНСС ГЛОНАСС.	36
1.2. Спутниковая радионавигационная система GPS	37
1.2.1. Общая характеристика и состав системы	37
1.2.2. Сегмент управления	38
1.2.3. Космический сегмент	40
1.2.4. Структура навигационных радиосигналов	44
1.2.5. Навигационное сообщение	47
1.2.6. Принципы функционирования	49
1.2.7. Точностные характеристики	50
1.2.8. Контроль целостности	53
1.3. Функциональные дополнения ГНСС	54
1.3.1. Назначение	54
1.3.2. Принцип дифференциальной коррекции	56
1.3.3. Типовая структура СФД	58
1.3.4. Локальные дифференциальные подсистемы	64
1.3.5. Принцип построения и работы морских ЛДПС. ...	65
1.3.6. Речные ЛДПС	77
Глава 2. Виды помех и методы повышения помехозащищенности	80
2.1. Виды помех, воздействующих на радиоканалы ГНСС ...	80
2.1.1. Естественные и искусственные помехи	83

2.1.2. Преднамеренные помехи	83
2.1.3. Аддитивные и мультипликативные помехи	87
2.1.4. Замирания радиосигнала	89
2.1.5. Ионосферные замирания	90
2.1.6. Шумовые помехи	96
2.1.7. Узкополосные и широкополосные помехи	97
2.1.8. Взаимные помехи	100
2.1.9. Индустриальные помехи	101
2.2. Обзор современных методов борьбы с помехами, кото- рые могут быть использованы при разработке ГНСС ГЛОНАСС/GPS	110
2.2.1. Методы повышения помехоустойчивости	112
2.2.2. Алгоритмические методы фильтрации помеховых сигналов	114
2.2.3. Метод пространственного подавления помех	129
2.2.4. Комплексование навигационных приемников с ИНС	137
Глава 3. Учет ослабления сигнала СВ/ДВ-диапазона под влиянием подстилающей поверхности	138
3.1. Влияние подстилающей поверхности на распростране- ние радиоволн	138
3.1.1. Алгоритмы определения проводимости почв	138
3.1.2. Факторы, влияющие на основные электрические параметры подстилающих поверхностей	139
3.1.3. Разновидности поверхности Земли	144
3.2. Модели аппроксимации подстилающей поверхности	146
3.2.1. Модель Шулейкина—Ван-дер-Поля	147
3.2.2. Модель В. А. Фока	152
3.2.3. Модель Е. Л. Фейнберга	158
3.2.4. Численный метод определения функции ослабле- ния над неоднородной сферической поверхностью	175
Глава 4. Помехозащищенность и функциональная устойчивость радиоканалов ЛДПС ГНСС ГЛОНАСС/GPS	181
4.1. Обобщенная модель радиоканалов локальных дифферен- циальных подсистем	181
4.1.1. Структурная схема системы передачи дискретных сообщений, модели сигналов и помех	181
4.1.2. Критерии оценки помехозащищенности радиока- налов локальных дифференциальных подсистем	185
4.2. Методы и алгоритмы расчета помехозащищенности функ- циональных дополнений ГНСС ГЛОНАСС/GPS при воз- действии взаимных помех	194
4.2.1. ЛДПС СВ/ДВ-диапазона	194

4.2.2. Алгоритмы для СВ/ДВ-диапазона	195
4.2.3. ККС БС АИС	198
3.2.4. Алгоритм для УКВ-диапазона	201
4.3. Учет влияния промышленных помех на помехозащищенность локальных дифференциальных подсистем	202
4.3.1. Методика для ККС ЛДПС СВ/ДВ-диапазона	202
4.3.2. Методика для ККС БС АИС	205
4.4. Функциональная устойчивость дальности действия дифференциальных подсистем	207
4.4.1. Критерии оценки функциональной устойчивости информационных систем	207
4.4.2. Методика оценки функциональной устойчивости дальности действия дифференциальных подсистем	210
4.4.3. Метод расчета дальности действия ККС	214

Глава 5. Концепция построения системы мониторинга и управления дифференциальным полем ГНСС на ВВП Российской Федерации 218

5.1. Методология концептуального исследования	218
5.1.1. Необходимости создания СМУДП на ВВП РФ	218
5.1.2. Инженерно-кибернетическая методология	221
5.2. Метасистемный уровень концептуального исследования	224
5.3. Системный уровень концептуального исследования	228
5.3.1. Требования к точности позиционирования и дискретности	228
5.3.2. Задачи, решаемые СМУДП речных ЛДПС	230
5.3.3. Оптимальная структура СМУДП	231
5.3.4. Требования к Региональному центру управления и контроля	235
5.4. Агрегативный уровень концептуального исследования	237
5.4.1. Принципы построения современных информационных сетей	237
5.4.2. Концепция построения информационной сети СМУДП	248
5.4.3. Принципы формирования физического уровня информационной сети СМУДП	254
5.4.4. Концепция построения подсистем СМУДП	272

Литература	277
Список сокращений на русском языке	283
Список сокращений на английском языке	284



Каретников Владимир Владимирович

Доктор технических наук, доцент, академик Российской академии транспорта и Международной академии навигации и управления движением, заведующий кафедрой судоходства на внутренних водных путях Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, капитан дальнего плавания. Автор более 170 научных и учебно-методических работ.

Область деятельности: обеспечение безопасности судоходства на внутренних водных путях, инфокоммуникационные технологии, радионавигация и связь на водном транспорте, беспилотные технологии и безэкипажное судоходство.



Миляков Денис Федорович

Кандидат технических наук, заместитель директора филиала АО «КБ НАВИС». Главный конструктор судового навигационного комбинированного приемопередатчика ГНСС СН-5703. Руководитель проектов в области развития ГЛОНАСС и функциональных дополнений.

Автор более 40 научных и учебно-методических работ. Область деятельности: технические средства спутниковой навигации, радионавигация и системы связи.



Шахнов Сергей Федорович

Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры судоходства на внутренних водных путях Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, инструктор учебно-тренажерного центра «Глобальная морская система связи при бедствии».

Автор более 80 научных и учебно-методических работ.

Область деятельности: технические средства навигации, инфокоммуникационные технологии и системы водного транспорта, радионавигация и связь на водном транспорте, беспилотные технологии и безэкипажное судоходство.

034



ISBN 978-5-02-040868-5



9 785020 408685