

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> .....	3
<b>1. Сети связи 5G/6G: предыстория и развитие</b> .....	8
1.1. Эволюция стандартов систем мобильной связи .....	8
1.2. Системы пятого поколения (5G) .....	15
1.3. Виды ортогонального множественного доступа .....	22
1.3.1. Методы частотного, временного и кодового раз- деления сигналов .....	25
1.3.2. Множественный доступ на основе ортогонально- го частотного мультиплексирования .....	26
<b>2. Основы неортогонального множественного доступа</b> 29	
2.1. Классификация систем NOMA .....	31
2.2. Принципы неортогонального разделения сигналов (NOMA) .....	34
2.3. Технология полного дуплекса .....	41
2.4. Системы NOMA с полным дуплексом .....	45
2.5. Системы NOMA с кооперацией .....	51
2.6. Справедливое распределение ресурсов в системах NOMA .....	55
2.7. Применение системы NOMA для организации систем связи с использованием беспилотных летательных ап- паратов (дронов) .....	56
2.8. Искусственный интеллект в системах неортогональ- ного доступа с беспилотными летательными аппара- тами (дронами) .....	62
2.9. Стандартизация технологий неортогонального досту- па .....	70
2.10. Достоинства и недостатки различных технологий NOMA .....	72
<b>3. Общие теоретические сведения о неортогональном множественном доступе</b> .....	75

3.1. Основы теории множественного доступа .....	75
3.1.1. Системы ОМА и NOMA .....	76
3.2. Системы множественного доступа и их статистическая идентификация .....	82
3.3. Обобщение модели системы NOMA .....	87
3.3.1. Линейная модель NOMA, использующая многомерные созвездия .....	87
3.3.2. Модель системы. Линия «вниз» .....	89
3.3.3. Модель системы NOMA с прореженными последовательностями .....	89
3.3.4. Модель системы NOMA, использующая одномерные созвездия .....	93
<b>4. Системы NOMA с разделением по мощности (PD-NOMA) .....</b>	<b>95</b>
4.1. Системы PD-NOMA. Общие сведения .....	95
4.1.1. Линия «вниз» .....	95
4.1.2. Линия «вверх» .....	97
4.1.3. Суперпозиционное кодирование .....	100
4.1.4. Последовательное подавление помех .....	102
4.2. Методы демодуляции .....	103
4.3. Проблема распределения мощности в системе PD-NOMA .....	109
4.4. Распределение пользователей .....	124
4.4.1. Разделение пользователей на пары .....	124
4.4.2. Разделение пользователей на группы .....	127
4.5. Совместное разделение пользователей на группы и распределения мощности между ними .....	130
4.5.1. Линия «вниз» .....	131
4.5.2. Линия «вверх» .....	133
4.6. Справедливость в системах PD-NOMA .....	135
4.7. Направления дальнейших исследований систем PD-NOMA .....	138
4.7.1. Основные преимущества систем PD-NOMA ....	138
4.7.2. Слабые стороны систем PD-NOMA .....	139
4.7.3. Нерешенные проблемы в системах PD-NOMA ..	139
<b>5. Системы NOMA с разделением по структуре сигнала .....</b>	<b>141</b>

5.1. Технология множественного доступа LDS-CDMA . . . .	141
5.2. Технология множественного доступа SCMA . . . . .	149
5.2.1. Модель системы . . . . .	149
5.2.2. Кодовые книги, их формирование и оптимизация . . . . .	154
5.2.3. Алгоритм демодуляции . . . . .	157
5.2.4. Помехоустойчивость SCMA . . . . .	162
5.2.5. Возможности дальнейшего развития технологии SCMA . . . . .	167
5.3. Технология множественного доступа IDMA . . . . .	168
5.3.1. Структуры передатчика и приемника . . . . .	169
5.3.2. Демодуляция . . . . .	170
5.3.3. Виды перемежителей . . . . .	172
5.3.4. Система IDMA, ее преимущества и недостатки . . . . .	173
5.4. Технология множественного доступа PDMA . . . . .	174
5.4.1. Принципы работы технологии PDMA . . . . .	174
5.4.2. Помехоустойчивость системы PDMA . . . . .	182
5.5. Технология множественного доступа MUSA . . . . .	186
5.6. Технология множественного доступа WSMA . . . . .	189
5.6.1. Линия «вверх» . . . . .	190
5.6.2. Линия «вниз» . . . . .	191
5.6.3. Граница Велча . . . . .	192
5.6.4. Помехоустойчивость системы WSMA . . . . .	194
<b>6. Совмещение технологий NOMA и MIMO . . . . .</b>	<b>199</b>
6.1. Постановка задачи . . . . .	199
6.2. Совмещение технологий PD-NOMA и MIMO . . . . .	203
6.3. Совмещение технологий MIMO и NOMA. Линия «вниз» . . . . .	206
6.3.1. Открытая петля . . . . .	206
6.3.2. Замкнутая петля . . . . .	210
6.3.3. Сравнительный анализ систем с открытой петлей и замкнутой петлей . . . . .	213
6.4. Сравнительный анализ систем MIMO-NOMA и MIMO-OMA по пропускной способности . . . . .	213
6.4.1. Модель системы . . . . .	214

---

6.4.2. Сравнительный анализ систем МІМО-NOMA и МІМО-OMA с использованием различных критериев	219
6.5. Распределение мощности в системах МІМО-NOMA..	220
<b>Заключение</b> .....	224
<b>Приложение 1.</b> Комплексные случайные величины, векторы и матрицы .....	229
<b>Приложение 2.</b> Некоторые сведения о матрицах.....	233
<b>Литература</b> .....	238
<b>Список сокращений</b> .....	256