

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 08.03.2024 16:46:47

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c1eed7e52947e0114851fb51fd089

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»

(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
О.И. Локтионова  
« 6 » 08 2024 г.



### ИЗУЧЕНИЕ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ АНАЛИЗА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОКАНАЛОВ СИСТЕМ РАДИОДОСТУПА

Методические указания по выполнению лабораторной работы  
для студентов направления подготовки

11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Курск 2024

УДК 621.3.095

Составители: В. Г. Андронов, А. Е. Севрюков

Рецензент

Доктор физико-математических наук, доцент,  
профессор кафедры космического приборостроения и систем связи  
*А. А. Гуламов*

**Изучение моделей и методов анализа энергетических характеристик радиоканалов систем радиодоступа: методические указания по выполнению лабораторной работы для студентов направления подготовки 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. В. Г. Андронов, А. Е. Севрюков. – Курск, 2024. – 12 с.**

Методические указания содержат теоретический материал, практические указания и индивидуальные задания необходимые для выполнения лабораторной работы.

Полученные знания в результате выполнения лабораторной работы дадут возможность углубить компетенции понимания принципов проектирования и эксплуатации систем инфокоммуникаций, организации эксплуатации оборудования, проведению измерений, проверки качества работы, проведения расчетов по проектированию сетей, сооружений и средств инфокоммуникаций в соответствии с техническим заданием.

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи (очной и заочной форм обучения) при изучении дисциплины «Проектирование систем и сетей радиодоступа».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано печать 06.08.24. Формат 60x84/16.  
Усл. печ. л. 0,7. Уч.-изд. л.0,63. Тираж 100 экз. Заказ 797. Бесплатно  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

**Цель работы:** освоение принципов частотно-территориального планирования сетей подвижной связи, оценки зоны обслуживания абонентов в системе транкинговой связи стандарта TETRA.

Методические указания помогут студентам в приобретении навыков решения задач исследований распространения радиоволн в реальных условиях. Процесс оценки зоны обслуживания состоит из нескольких этапов.

На первом этапе определяется мощность сигнала, излучаемая в эфир. На втором - средняя мощность сигнала на приемной антенне, при которой обеспечивается заданная чувствительность приемника. По результатам этих этапов определяется допустимый уровень потерь на трассе распространения радиосигнала. На третьем этапе выбирается модель расчета потерь на трассе и на ее основе строится зависимость потерь от расстояния. По данному графику определяется средняя дальность радиосвязи с учетом запаса на обеспеченность связью по месту и времени.

Табл. 1. Выбора исходных данных

Последние две цифры номера зач. книжки	Класс БС	Тип абонентской станции	Класс АС	Тип местности
01, 51	2	Мобильная	1	Город
02, 52	4	Мобильная	4	Откр.пр
03, 53	8	Носимая	1	Сельск.
04, 54	6	Мобильная	2	Откр.пр
05, 55	3	Носимая	2	Город
06, 56	2	Носимая	2	Сельск.
07, 57	1	Носимая	1	Город
08, 58	5	Мобильная	3	Город
09, 59	6	Мобильная	4	Сельск.
10, 60	3	Носимая	2	Город
11, 61	2	Мобильная	1	Откр.пр
12, 62	4	Носимая	1	Сельск.
13, 63	9	Мобильная	3	Город
14, 64	10	Носимая	1	Откр.пр
15, 65	3	Мобильная	2	Город
16, 66	2	Носимая	2	Город
17, 67	4	Носимая	2	Откр.пр
18, 68	8	Мобильная	4	Город
19, 69	6	Носимая	1	Сельск.
20, 70	3	Мобильная	4	Город
21, 71	2	Мобильная	1	Город
22, 72	9	Носимая	2	Сельск.
23, 73	8	Мобильная	2	Откр.пр
24, 74	10	Мобильная	3	Сельск.

25, 75	3	Носимая	2	Город
26, 76	2	Носимая	1	Откр.пр
27, 77	4	Носимая	1	Город
28, 78	5	Мобильная	2	Сельск.
29, 79	1	Мобильная	4	Город
30, 80	9	Мобильная	1	Сельск.
31, 81	2	Носимая	1	Город
32, 82	4	Мобильная	3	Откр.пр
33, 83	8	Носимая	2	Город
34, 84	10	Носимая	2	Город
35, 85	3	Носимая	1	Сельск.
36, 86	2	Мобильная	3	Откр.пр
37, 87	4	Мобильная	2	Город
38, 88	8	Носимая	1	Сельск.
39, 89	7	Мобильная	4	Сельск.
40, 90	5	Носимая	2	Город
41, 91	2	Носимая	1	Город
42, 92	4	Носимая	1	Откр.пр
43, 93	9	Мобильная	1	Город
44, 94	1	Носимая	2	Город
45, 95	10	Мобильная	4	Откр.пр
46, 96	2	Мобильная	2	Сельск.
47, 97	4	Мобильная	3	Город
48, 98	8	Носимая	2	Город
49, 99	9	Мобильная	2	Сельск.
50, 00	5	Носимая	1	Город

Табл. 2. Выбора исходных данных

Последние две цифры номера зач. книжки	Высота установки антенны БС	Высота установки антенны АС	Несущая частота сигнала
01, 51	30	1	410
02, 52	100	2	430
03, 53	30	1,5	470
04, 54	50	2	380
05, 55	50	2	450
06, 56	30	1	390
07, 57	50	2	870
08, 58	100	1,5	915
09, 59	50	1	875
10, 60	50	1,5	920
11, 61	30	1	430
12, 62	50	2	470
13, 63	100	1,5	380
14, 64	100	1	915
15, 65	50	1,5	875
16, 66	50	1,5	410
17, 67	30	2	430
18, 68	50	2	875
19, 69	30	1	410
20, 70	30	2	470

21, 71	100	1,5	380
22, 72	50	1	915
23, 73	30	2	875
24, 74	50	1,5	410
25, 75	30	1	430
26, 76	50	1	430
27, 77	30	1,5	470
28, 78	50	2	380
29, 79	100	2	450
30, 80	100	1,5	390
31, 81	30	2	450
32, 82	50	2	390
33, 83	100	1	870
34, 84	50	2	915
35, 85	50	1,5	875
36, 86	30	1,5	410
37, 87	30	2	430
38, 88	50	2	470
39, 89	100	1	380
40, 90	50	2	450
41, 91	100	1,5	390
42, 92	30	1	870
43, 93	50	1,5	915
44, 94	100	1,5	875
45, 95	50	1	920
46, 96	100	1,5	470
47, 97	30	1,5	380
48, 98	50	2	450
49, 99	50	2	390
50, 00	30	1,5	915

Излучаемая мощность сигнала

$$P_{\text{изл}} = P_S + G_A + V_C \text{ [дБ]}, \quad (1)$$

где  $P_S$  – мощность передатчика;

$G_A$  – коэффициент усиления антенны;

$V_C$  – коэффициент передачи фидера и других цепей между передатчиком и антенной.

Необходимая мощность сигнала на приемной антенне:

$$P_A = P_{\text{ПР}} - G_{\text{ПА}} - V_{\text{ПС}} + \Delta_c \text{ [дБ]}, \quad (2/11)$$

где  $P_{\text{ПР}}$  – чувствительность приемника;

$G_{\text{ПА}}$  – коэффициент усиления приемной антенны;

$V_{\text{ПС}}$  – коэффициент передачи фидера и других цепей между антенной и приемником;

$C$  – коэффициент обеспеченности связью по месту и времени. Данный коэффициент вносит поправку для обеспечения с заданной вероятностью превышения мощности сигнала на входе антенны относительно среднего значения. Значение коэффициента определяется многими факторами, в том числе характером распространения радиоволн, плотностью застройки территории, требующей обеспечения связью. Например, при  $\Delta_c=0\text{дБ}$  мощность сигнала на входе приемника будет превышать заданный уровень в 50% случаев приема, при  $\Delta_c=10\text{дБ}$  - в 90%.

Допустимый уровень потерь на трассе распространения радиосигнала:

$$L_{\text{Д}} = P_{\text{изл}} - P_{\text{А}} = P_{\text{S}} + G_{\text{А}} + V_{\text{С}} - P_{\text{ПР}} + G_{\text{ПА}} + V_{\text{ПС}} - \Delta_c \text{ [дБ]} \quad (3/12)$$

Методика оценки  $L_{\text{Д}}$ , предлагаемая стандартом TETRA, основана на модели Хата, которая позволяет прогнозировать усредненные потери при распространении радиосигнала в открытом пространстве, сельской местности и в городе. Исходными данными для оценки потерь служат:

- $h_b$  – высота установки антенны базовой станции;
- $h_m$  – высота установки антенны мобильной станции;
- $f_c$  – несущая частота сигнала.

Коэффициент потерь в свободном пространстве определяется выражением:

$$L_{\text{ОА}} = 27,81 + 27,72 \lg(f_c) - 13,82 \lg(h_b) - (1,1 \lg(f_c) - 0,7)h_m + (44,9 - 6,55 \lg(h_d)) \lg(R) - 4,78(\lg(f_c))^2 \text{ [дБ];} \quad (4)$$

где  $R$  – расстояние от передатчика до точки оценки потерь.

В соответствии с методикой Хата коэффициент потерь при распространении сигнала в сельской местности

$$L_{\text{РА}} = L_{\text{ОА}} + 10 \text{ [дБ]},$$

а при распространении сигнала в городе

$$L_{\text{ОА}} = 63,35 + 27,72 \lg(f_c) - 13,82 \lg(h_b) - (1,1 \lg(f_c) - 0,7)h_m + (44,9 - 6,55 \lg(h_d)) \lg(R) - 2(\lg(f_c / 28))^2 \text{ [дБ].} \quad (5)$$

Например, при  $h_m=1,5$  м,  $f_c=400$  МГц, и трех значениях  $h_m=30$ ; 50; 100 м на рис. 1 и рис. 2 построены графики зависимости  $L_{OA}=f(R)$  для сельских и городских условий распространения радиоволн.

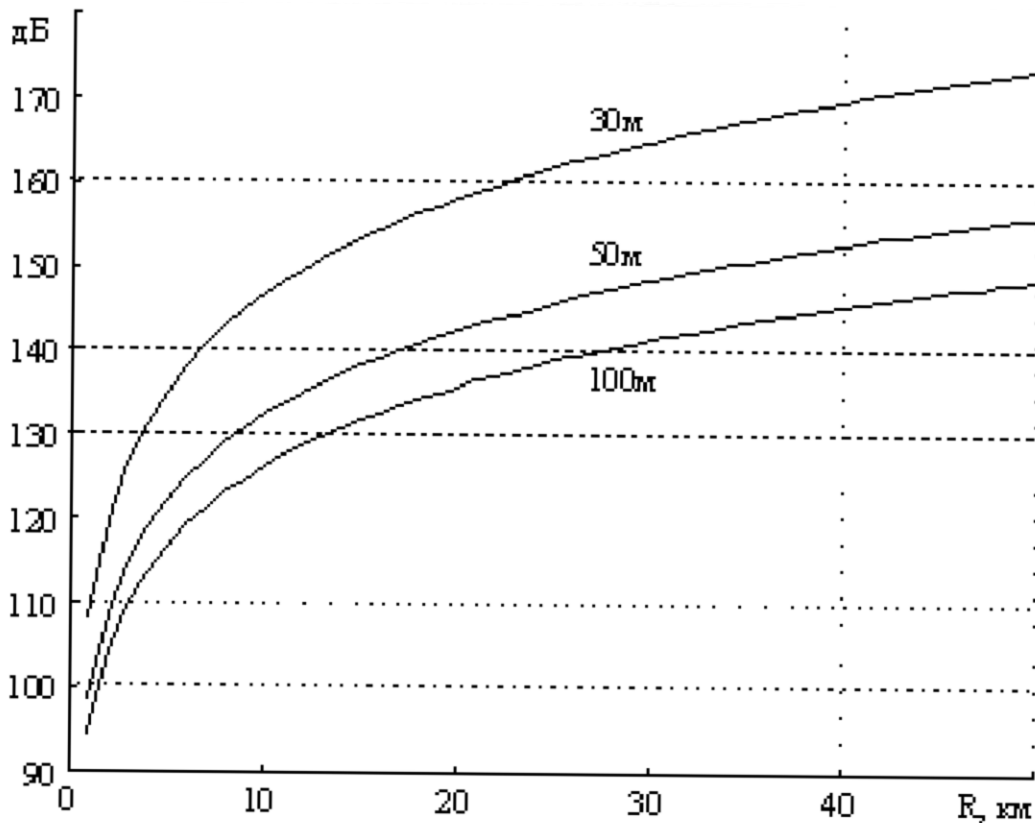


Рис. 1. График зависимости  $L_{OA}=f(R)$  для сельских условий.

В соответствии с приведенной методикой оценим дальности связи для сельских и городских условий распространения сигнала при исходных данных, представленных в таблице 10.

Поскольку, как правило, энергетический потенциал радиолинии сверху вниз (от базовой станции к подвижным абонентам) выше, чем в обратном направлении, то оценку дальности связи будем проводить для направлений подвижный абонент - базовая станция при динамических условиях распространения сигнала.

Для каждого варианта с учетом условий распространения сигнала подставим соответствующие значения в (14) или (15). Затем по графикам на рис. 1, рис. 2 найдем дальности связи. Результаты для двух значений обеспеченностью связью по месту 50% и 90% представить в таблице 11.

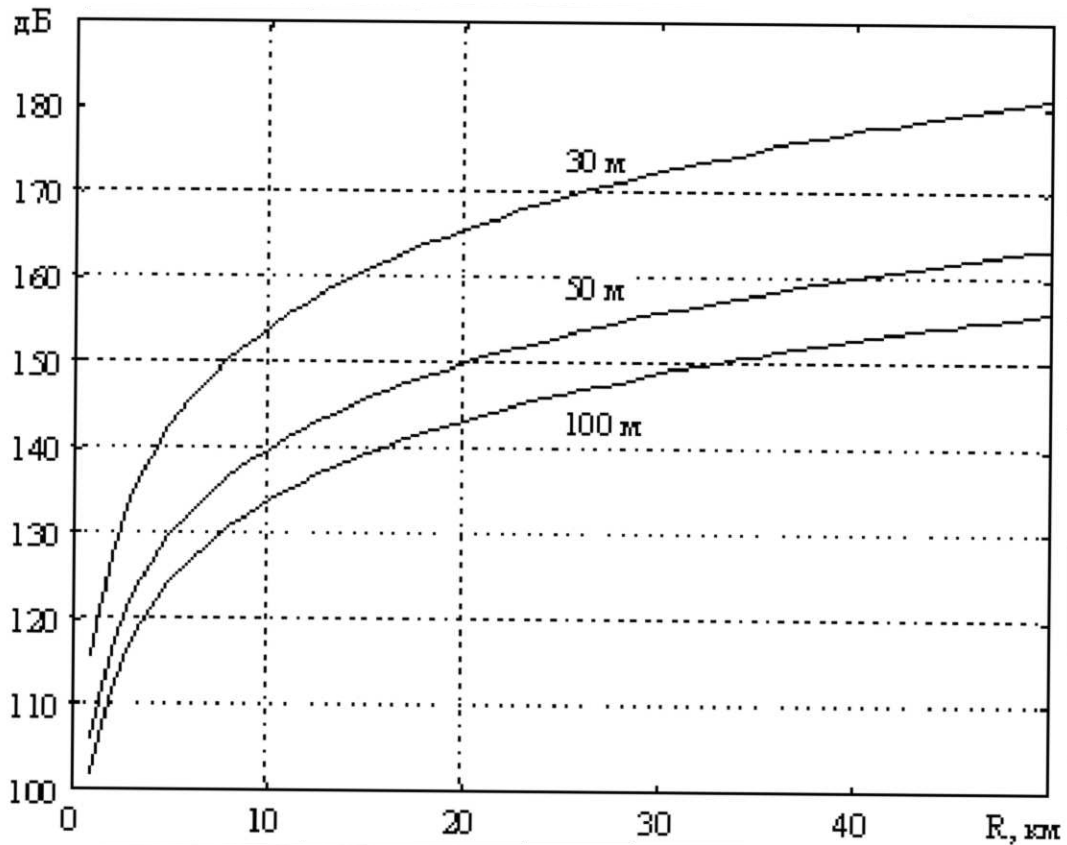


Рис. 2. График зависимости  $L_{OA}=f(R)$  для городских условий.

Процент обеспеченности связью, показанный в таблице, обеспечивается на границе зоны обслуживания, внутри области обслуживания обеспеченность будет составлять 75% и 95% соответственно.

Следует отметить, что представленные дальности связи ограничиваются чувствительностью приемника базовой станции по шумам, что характерно для систем без повторного использования радиочастот.

Табл. 3

Параметр	Базовая станция	Мобильная станция	Носимая станция
Мощность передатчика, дБм	44	40	30
Коэффициент передачи фидера, дБм	-6	-2	0
Коэффициент усиления антенны, дБм	8	2	-4
Чувствительность приемника динамические условия, дБм	-106	-103	-103
Высота установки антенны, м	50	1,5	1,5
Несущая частота, МГц	400		



Табл. 4

Направление связи	Мобильная станция - базовая станция		Носимая станция - базовая станция	
	50%	90%	50%	90%
Процент обеспеченности связью	50%	90%	50%	90%
Дальность связи в сельской местности, динамические условия, км				
Дальность связи в городе, динамические условия, км				

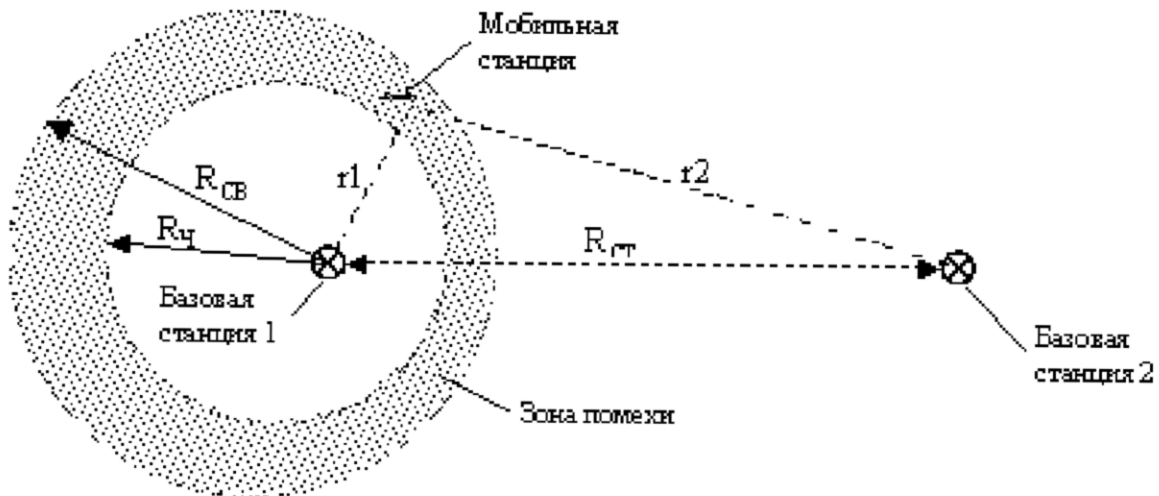


Рис. 3. Радиус связи при помехе от совмещенного канала.

При построении многозоновых систем с повторным использованием радиочастот чувствительность, как правило, ограничивается уровнем помехи по совмещенному каналу связи, что характерно для сотовых систем. На рис. 3 показана ситуация возникновения помехи по совмещенному каналу, когда имеются две базовые станции, работающие на одном канале, где  $R_{св}$  - радиус связи при ограничении по чувствительности приемника,  $R_{п}$  - радиус связи при ограничении по помехе от совмещенного канала

Если на входе приемника мобильной станции действует сумма полезного сигнала и помехи от базовых станций 1 и 2 соответственно, то при отношении уровней сигналов  $E1/E2 < 19$  дБ в приемнике наблюдается помеха по совмещенному каналу. Географическая область действия помехи зависит от соотношения расстояний  $r1$ ,  $r2$  и условий распространения радиосигнала. При разработке частотно-территориального плана многозоновой системы с повторным использованием радиоканалов важным является обеспечение уровня помех по совмещенному каналу в пределах

заданного значения. Это требование может быть выполнено при размещении базовых станций с повторным использованием каналов на определенном расстоянии ( $R_{СТ}$ ) друг от друга. В таблице 5 представлены относительные расстояния ( $R_{СТ}/R_{П}$ ) при допустимых вероятностях помех 5% и 10% для различных значений флуктуаций сигнала на входе приемника. Эти данные могут быть использованы как ориентировочные при предварительном проектировании системы.

Табл. 5

Флуктуации поля	Вероятность помехи по совмещенному каналу	
	5%	10%
6 дБ	7,7	6,6
8 дБ	9,7	7,9
10 дБ	12,4	9,5

### Мощность передатчика

Стандартные мощности передатчиков базовой и подвижной станции для всех классов приведены в таблице 6.

Табл. 6

Класс станции	Мощность					
	Базовая станция		Мобильная станция		Носимая станция	
	Вт	дБм	Вт	дБм	Вт	дБм
1	40	46	30	45	3	35
2	25	44	10	40	1	30
3	15	42	3	35	-	-
4	10	40	1	30	-	-
5	6,3	38	-	-	-	-
6	4	36	-	-	-	-
7	2,5	34	-	-	-	-
8	1,6	32	-	-	-	-
9	1	30	-	-	-	-
10	0,6	28	-	-	-	-

### Чувствительности приемника радиостанции

Чувствительность базовой и мобильной радиостанции для речевого канала (ТСН/S) (см. таблицу 7).

Табл. 7. Чувствительность базовой и мобильной радиостанции

Тип радиостанции	Условия распространения радиосигнала	
	статические	динамические
Базовая	-115 дБм	-106 дБм
Мобильная	-112 дБм	-103 дБм

### Контрольные вопросы и задания

1. Опишите основные факторы, влияющие на энергетические характеристики радиоканалов в системах радиодоступа.
2. Что такое модель распространения радиоволн и какие модели наиболее часто используются для анализа энергетических характеристик радиоканалов?
3. Рассчитать потери в свободном пространстве для радиоканала с частотой 2,4 ГГц на расстоянии 1 км.
4. Опишите влияние затухания на краю зоны видимости на энергетические характеристики радиоканалов.
5. Какие методы и инструменты используются для измерения энергетических характеристик радиоканалов в реальных условиях?
6. Объясните, как изменяется уровень сигнала при увеличении расстояния между передатчиком и приемником на примере заданной модели радиоканала.
7. Объясните концепцию отношения сигнал/шум (SNR) и его влияние на качество радиоканала.
8. Какие модели затухания могут применяться для различных частотных диапазонов в радиоканалах?
9. С помощью моделирования в программной среде рассчитать энергетические потери для радиоканала с заданными параметрами.
10. Опишите, как погодные условия могут влиять на энергетические характеристики радиоканалов и какие модели учитывают эти факторы.

### Список рекомендованной литературы

1. Грищенко, С. Г. Проектирование сетей наземной радиосвязи, телевидения и радиовещания : учебное пособие / С. Г. Грищенко, Н. Н. Кисель. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Южный федеральный университет, 2019. – 129 с. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=598612>. – Текст : электронный.

2. Васяева, Н. С. Проектирование локальных вычислительных сетей: учебное пособие для курсового проектирования : учебное пособие / Н. С. Васяева, Е. С. Васяева ; Поволжский государственный технологический университет. – Йошкар-Ола : Поволжский государственный технологический университет, 2019. – 94 с. – Режим доступа: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=560566>. – Текст : электронный.

3. Котенко, В. В. Технологии информационного анализа пользовательского уровня телекоммуникационных систем : учебное пособие / В. В. Котенко ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Южный федеральный университет, 2019. – 195 с. – Режим доступа: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=577870>. – Текст : электронный.

4. Акулиничев, Ю. П. Радиотехнические системы передачи информации : учебное пособие / Ю. П. Акулиничев, А. С. Бернгардт ; Министерство образования и науки Российской Федерации ; Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники (ТУСУР) ; Кафедра радиотехнических систем. – Томск : ТУСУР, 2015. – 196 с. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480583>. – Текст : электронный.

5. Усенко, О. А. Математические основы проектирования радиоэлектронных систем и комплексов : учебное пособие / О. А. Усенко ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Южный федеральный университет, 2020. – 187 с. – Режим доступа: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=619060>. – Текст : электронный.

6. Никонов, В. И. Линии радиосвязи и методы их защиты : учебное пособие / В. И. Никонов, И. В. Никонов ; Омский государственный технический университет. – Омск : Омский государственный технический университет (ОмГТУ), 2021. – 96 с. – Режим доступа: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=700632>. – Текст : электронный.