

# РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ

Факультет физико-математических и естественных наук

Кафедра прикладной информатики и теории вероятностей

## ОТЧЕТ

### ПО ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ № 5

дисциплина: Построение и анализ

моделей беспроводных сетей 5G/6G

Студент:

Кубасов Владимир Юрьевич

ст.б. 1132249516

Группа:

НФИмд-01-24

Преподаватель:

Молчанов Дмитрий Александрович

Самуйлов Андрей Константинович

МОСКВА

2024г.

## Цель работы:

Исследование вероятностных аспектов основных параметров беспроводной связи.

## Выполнение работы

1. Предположите, что передатчик и приёмник находятся на одной высоте, но на случайном расстоянии друг от друга. Используя модель распространения FSPL определите плотность функции распределения потерь распространения предположив, что расстояние распределено по следующим законам: равномерно от 1 до 100 м. Постройте графики полученных функций.

2. В условиях предыдущей задачи определите плотность функции распределения уровня принимаемого сигнала в линейной шкале предположив дополнительно излучаемую мощность антенны БС 23 дБм, усиления на передаче и приеме 10 дБ.

3. В условиях предыдущих задач определите плотность функции распределения SNR и скорости Шеннона, предположив дополнительно ширину канала 20 МГц, тепловой шум 174 дБ/Гц. Постройте графики полученных функций.

Первым делом найдем плотность вероятности для  $fspl$  функции. Т.к. она задана в логарифмической шкале, то последующие плотности распределения ФР найти будет менее трудозатратно:

Определим  $fspl(x)$  как:

$$fspl(x) = C + 20 \cdot \log_{10}(x)$$

Тогда выразим  $x$ :

$$\frac{fspl(x)-C}{20} = \log_{10}(x)$$

$$x = 10^{\frac{fspl(x)-C}{20}}$$

Далее нужно найти модуль производной по  $fspl(x)$ :

$$x' = \frac{1}{20} \cdot \ln(10) \cdot 10^{\frac{fspl(x)-C}{20}}$$

Тогда умножая это на плотность равномерного распределения в заданных пределах от 1 до 100 метров:

$$P(fspl(x)) = \frac{1}{20 \cdot 99} \cdot \ln(10) \cdot 10^{\frac{fspl(x)-C}{20}}$$

### Листинг программы:

```
SPEED_OF_LIGHT = 299_792_458;
FREQUENCY = 28e9;

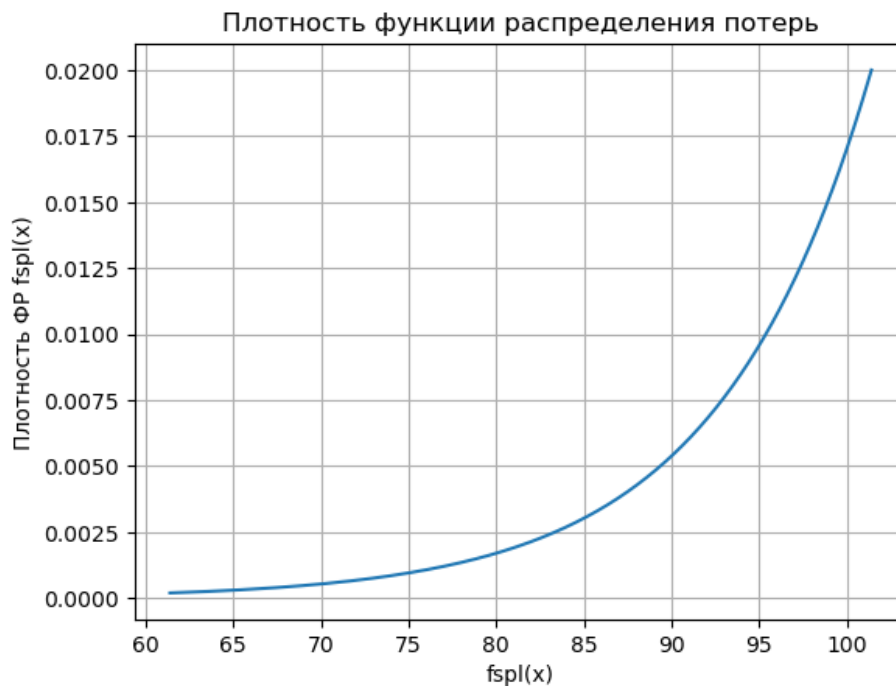
#Та самая константа C
PREPARED_CONST = 20 * math.log10(4 * math.pi / SPEED_OF_LIGHT * FREQUENCY);

x = np.linspace(1, 100, 1000);
fspl = lambda x: PREPARED_CONST + 20 * math.log10(x);
xfspl = [fspl(i) for i in x];
pfspl = lambda x: 1 / (20 * 99) * math.log(10) * 10 ** ((fspl(x) -
PREPARED_CONST) / 20);

(norm, add) = sc.integrate.quad(pfspl, 1, 100);
xpfspl = [pfspl(i) / norm for i in x];

plt.plot(xfspl, xpfspl);
plt.grid();
plt.xlabel("fspl(x)");
plt.ylabel("Плотность ФР fspl(x)");
plt.title("Плотность функции распределения потерь");
plt.show();
```

Воспользовавшись услугами функций-генераторов получаем дискретные значения для найденной плотности ФР и отразим результаты на графике:



Не забываем нормировать по интегралу полученную функцию. Т.к. изменение количества точек не влияет на значения плотности ФР, то нормировка проведена успешно. Ввиду экспоненциальности fspl функции экспоненциальное распределение получила и плотность.

Далее проведём аналогичные действия с учётом домножения (сложения в лог. Шкале) мощностей узлов передачи:

### Листинг программы:

```
income = lambda x: 43 - fspl(x);
pincome = lambda x: 1 / (20 * 99) * math.log(10) * 10 ** ((- 43 + fspl(x) -
PREPARED_CONST) / 20);

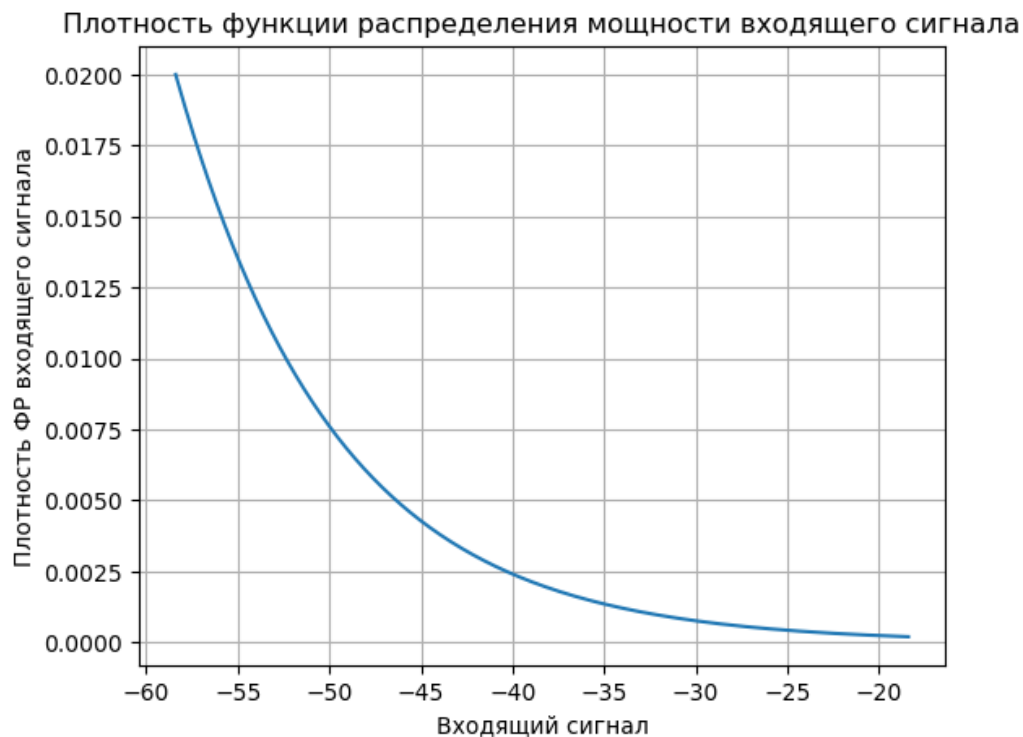
(norm2, add2) = sc.integrate.quad(pincome, 1, 100);

xincome = [income(i) for i in x];
xpincome = [pincome(i)/norm2 for i in x];

plt.plot(xincome, xpincome);
plt.grid();
plt.xlabel("Входящий сигнал");
plt.ylabel("Плотность ФР входящего сигнала");
```

```
plt.title("Плотность функции распределения мощности входящего сигнала");
plt.show();
```

Соответствующий график:



Аналогично `fspl`, получили экспоненциальную шкалу, однако в этом случае, меньший сигнал более ожидаем на приёмнике.

**Листинг программы:**

```
B = 20e+6;
N = -174;
Pn = 10 * math.log10(B) + N;

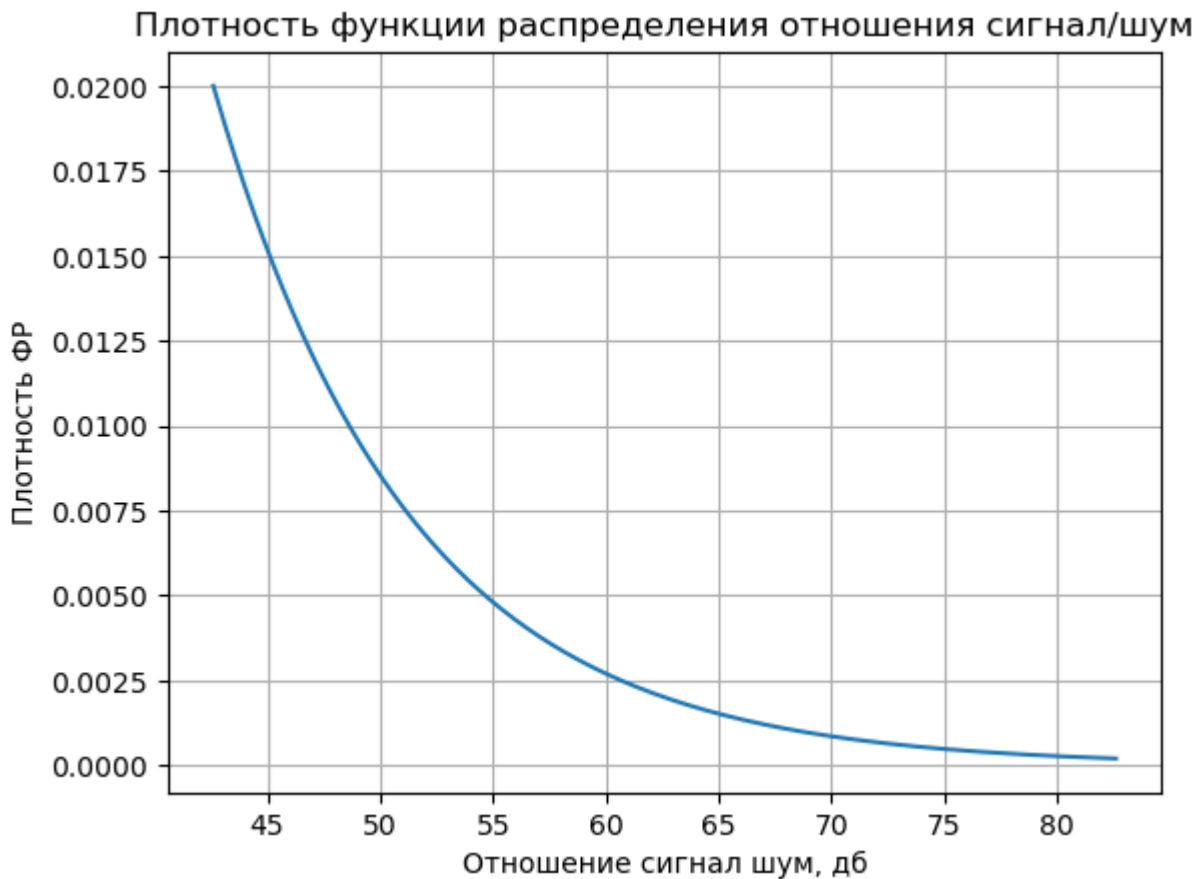
snr = lambda x: 43 - fspl(x) - Pn;
psnr = lambda x: 1 / (20 * 99) * math.log(10) * 10 ** (( - 43 + fspl(x) -
PREPARED_CONST + Pn) / 20);

(norm3, add3) = sc.integrate.quad(psnr, 1, 100);

xsnr = [snr(i) for i in x];
xpsnr = [psnr(i)/norm3 for i in x];
```

```
plt.plot(xsnr, xpsnr);
plt.grid();
plt.xlabel("Отношение сигнал шум, дБ");
plt.ylabel("Плотность ФР");
plt.title("Плотность функции распределения отношения сигнал/шум");
plt.show();
```

Аналогичные действия для отношения сигнал/шум:



Аналогично входящему сигналу, более ожидаемо получить ситуацию с меньшим отношением сигнал/шум.

Далее для максимальной теоретической пропускной способности. Т.к. данная функция не выводится аналогично предыдущим двум пунктам, повторяем аналитический вывод плотности ФР:

$$speed(snr) = B \cdot \log_2(1 + 10^{snr/10})$$

$$2^{\frac{speed(snr)}{B}} = 1 + 10^{snr/10}$$

$$10 \cdot \log_{10}(2^{\frac{speed(snr)}{B}} - 1) = snr$$

Модуль производной:

$$snr' = \frac{10 \ln(2)}{B} \cdot \frac{2^{\frac{speed(snr)}{B}}}{(2^{\frac{speed(snr)}{B}} - 1) \cdot \ln(10)}$$

После этого аналогично вводим анонимные функции, чертим графики:

### Листинг программы:

```
speed = lambda x : B * math.log2(1 + 10** (snr(x) / 10));
exp = lambda x : 2 ** (speed(x) / B);
pspeed = lambda x : psnr(x) * abs( 10 * math.log(2) / B * exp(x) / (exp(x) -
1) / math.log(10));

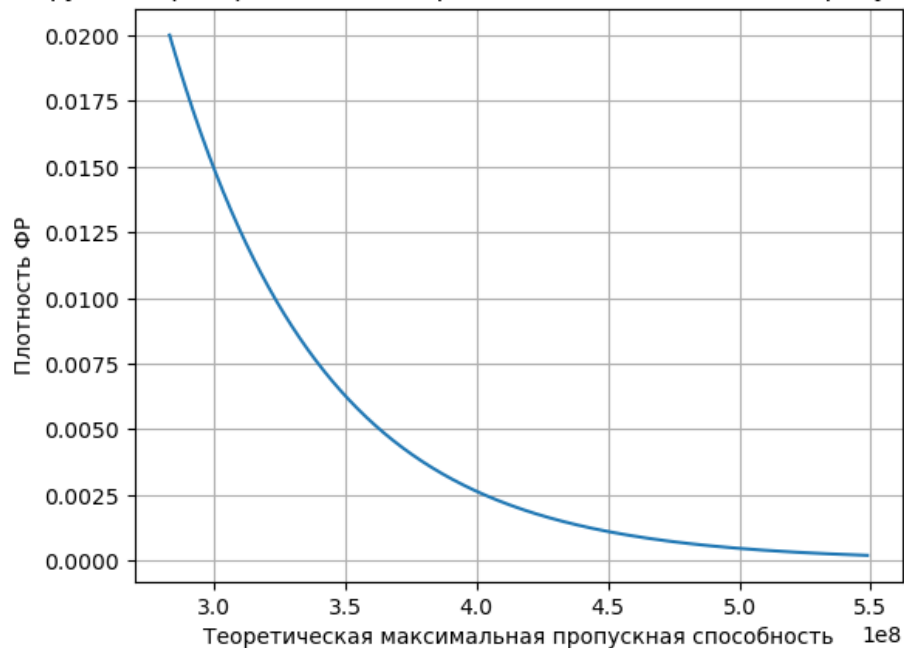
(norm4, add4) = sc.integrate.quad(pspeed, 1, 100);

xspeed = [speed(i) for i in x];
xpspeed = [pspeed(i)/norm4 for i in x];

plt.plot(xspeed, xpspeed);
plt.grid();
plt.xlabel("Теоретическая максимальная пропускная способность");
plt.ylabel("Плотность ФР");
plt.title("Плотность функции распределения теоретической максимальной пропускной
способности");
plt.show();
```

**Вывод:**

Плотность функции распределения теоретической максимальной пропускной способности



Аналогично прошлым двум пунктам. Получить меньшую пропускную способность более вероятно в условиях экспоненциального возрастания потерь сигнала.

**Выводы:**

В данной лабораторной работе исследовали вероятностные показатели основных характеристик беспроводной связи, такие как: плотности ФР для потерь согласно модели  $fspl$ , мощности поступающего на приёмник сигнала, отношения сигнал/шум и максимальной теоретической пропускной способности.