

# *Моделирование КВ радиосети Арктического региона*

Студент гр. *ФРБ – 902 – О – 01*

*Шад Сергей Викторович*

инженер ИРФЭ

*Артюшин Георгий Олегович*

Омск 2023

**Цель работы:** исследовать модель радиосети КВ диапазона, расположенной в Арктике.

**Задачи, требуемые выполнить:**

- 1) Определить используемые подходы к построению КВ радиосетей арктического региона с учетом имеющихся особенностей распространения радиоволн.
- 2) Изучение программного обеспечения для расчёта радиотрасс, построение моделей радиосети и расчёта оптимальных путей передачи информации.
- 3) Произвести моделирование КВ радиосети, определить оптимальные пути для более быстрой передачи информации, определить скорость изменения оптимальных путей в течении суток.

# Физические представления о распространении КВ-радиоволн в арктическом регионе

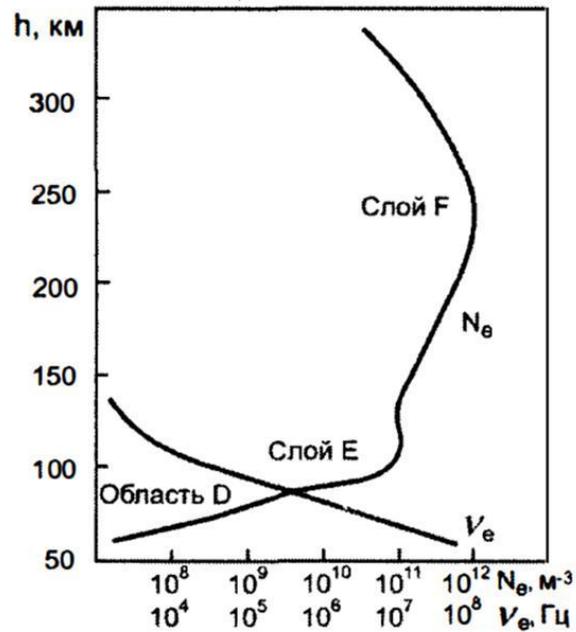


Рисунок 1. Типичное высотное распределение электронной концентрации для дневного условия

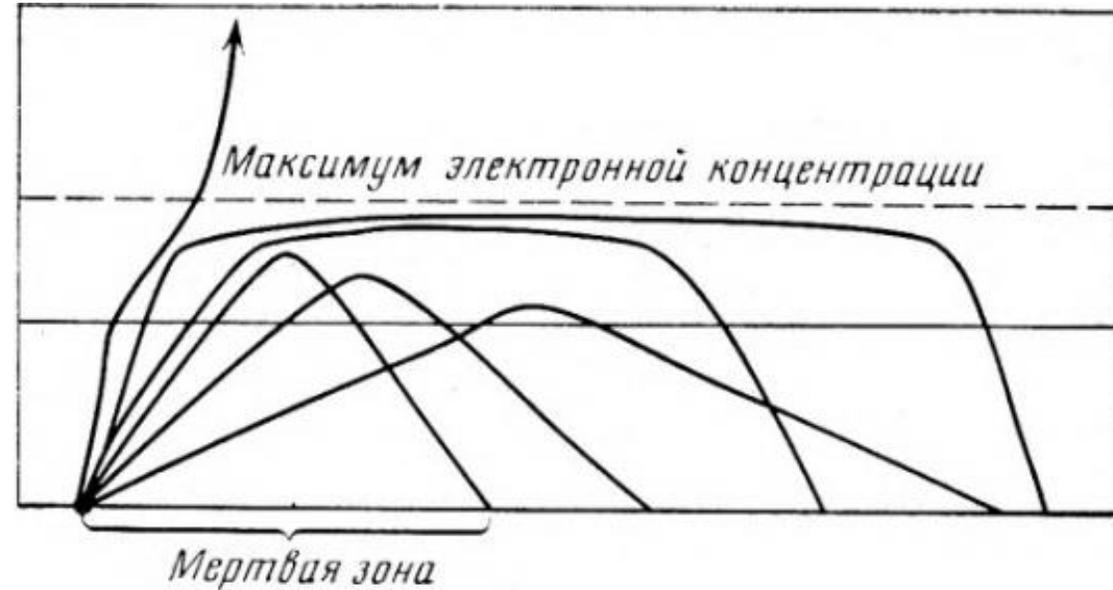


Рисунок 2. Лучевая траектория на фиксированной частоте при различных углах возвышения.

# Исходные данные вычислительного эксперимента



Рисунок 3. Перечень географических пунктов на карте

# Методика проведения вычислительного эксперимента

1. Определение расстояния и азимута между регионами.
2. Вычислить максимально применимую частоту
3. Определить оптимально рабочие частоты
4. Выбрать рабочие частоты
5. Получить результаты отношения сигнал/шум
6. Определить скорость передачи данных в кбит/с
7. Получить оптимальные маршруты для радиосети

# Программное обеспечение ICERACK

ICEPAC Point-to-Point data input - Version 08.0121W

File Run View Save to: Help

**Method** 16 = System performance (S.P.)

**Year** 2022 **Coefficients** URSI 88 (Australian)

**Time** 01 to 24 by 1 hours UT

**Groups** Month.Day= 1.00  
SSN = 100  
Qindex = 0.000

**Transmitter** 67.45N 63.97E VORKUTA **Swap Tx-Rx**

**Receiver** 71.60N 128.80E TIKSI

**Path** Long Distances: 37589km 20296nmi 23357mi Azimuth: 230.0deg

**Freq(MHz)** 6.075 7.200 9.700 11.850 13.700 15.350 17.725 21.650 25.885

**System** Noise Min Angle Req. Rel. Req SNR Multi Tol Multi Del Absorp  
145 (-dBw) 0.10deg 90% 73dB 3.00dB 0.10msec Normal

**Eprob** 1.00\*foE 1.00\*foF1 1.00\*foF2 0.70\*foEs

**Tx Antenna** # Min Max Design Directory\Filename.sfx Model MainBeam Power kW  
1 2 30 0.000 samples \SAMPLE.03 REC705 #03 230.0 5.0000

**Rx Antenna** DEFAULT \SWWHIP.VOA 0.0deg 0.00dB

Input Help:

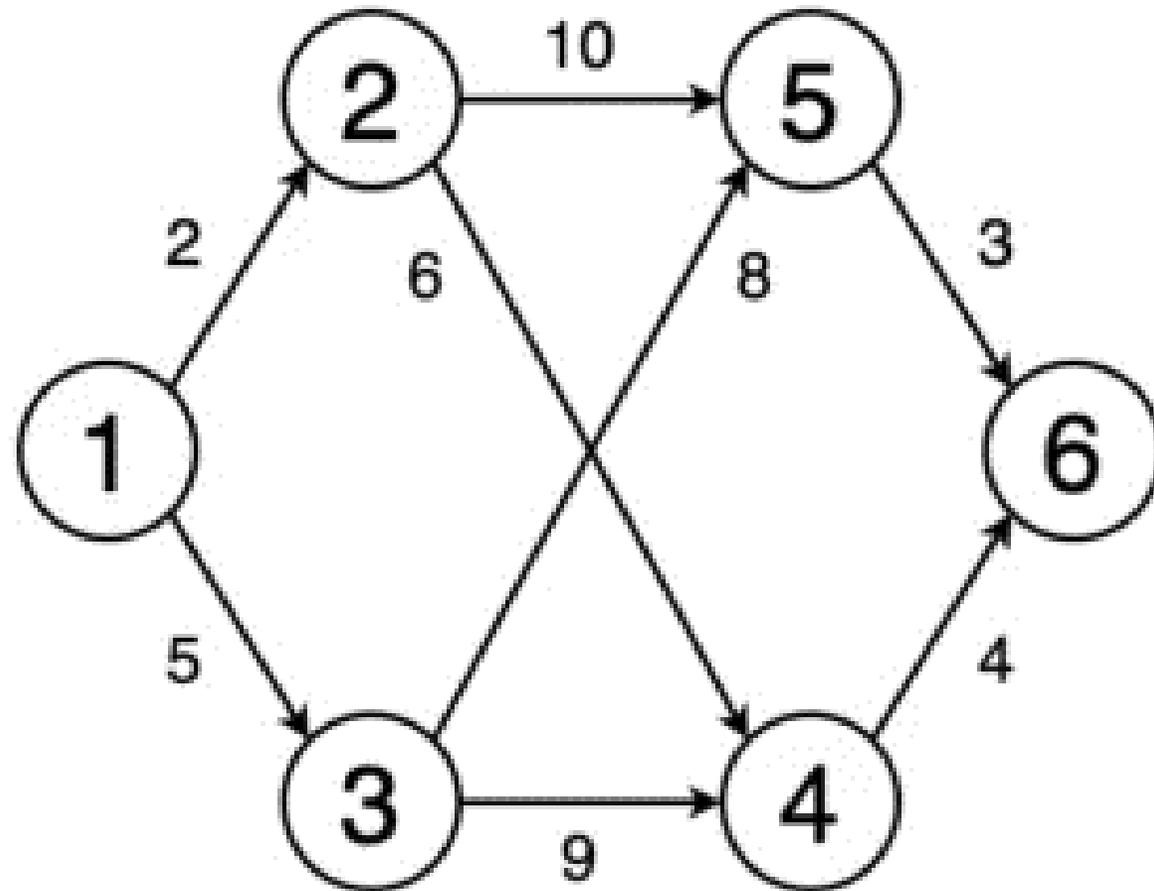
Рисунок 4. Главное меню ПО ICERACK

# Определение скорости передачи данных

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	6,4/8,0	8,0/8,0	4,8/4,8	6,4/8,0	6,4/6,4	6,4/6,4	4,8/8,0	8,0/9,6	6,4/9,6	2,4/9,6	2,4/8,0	4,8/9,6	2,4/8,0	8,0/8,0
2		0	0/0	8,0/9,6	6,4/8,0	6,4/8,0	9,6/9,6	6,4/4,8	2,4/4,8	2,4/4,8	4,8/6,4	2,4/2,4	2,4/4,8	0/2,4	0/0
3			0	8,0/9,6	6,4/8,0	6,4/8,0	9,6/9,6	6,4/6,4	2,4/4,8	2,4/4,8	4,8/6,4	2,4/2,4	2,4/4,8	0/2,4	0/0
4				0	8,0/9,6	8,0/8,0	9,6/9,6	9,6/9,6	9,6/9,6	8,0/9,6	6,4/9,6	4,8/8,0	4,8/9,6	2,4/8,0	0/1,2
5					0	2,4/4,8	6,4/9,6	9,6/9,6	9,6/9,6	8,0/8,0	9,6/9,6	6,4/9,6	4,8/9,6	2,4/9,6	8,0/6,4
6						0	6,4/8,0	9,6/9,6	9,6/9,6	9,6/9,6	9,6/9,6	6,4/9,6	8,0/9,6	2,4/9,6	2,4/4,8
7							0	6,4/9,6	9,6/9,6	9,6/9,6	9,6/9,6	8,0/9,6	9,6/9,6	9,6/9,6	4,8/8,0
8								0	8,0/9,6	9,6/9,6	9,6/9,6	9,6/9,6	9,6/9,6	9,6/9,6	8,0/9,6
9									0	9,6/9,6	9,6/9,6	9,6/9,6	9,6/9,6	9,6/9,6	9,6/9,6
10										0	8,0/9,6	9,6/9,6	9,6/9,6	9,6/9,6	9,6/9,6
11											0	9,6/9,6	9,6/9,6	9,6/9,6	9,6/9,6
12												0	8,0/8,0	9,6/9,6	9,6/9,6
13													0	9,6/9,6	9,6/9,6
14														0	9,6/9,6
15															0

Рисунок 5. Скорость передачи данных для времени 01:00/03:00

# Алгоритм Дейкстры для вычисления кратчайшего пути



# Реализация на языке Python алгоритма Дейкстры

```
import pandas as pd
from scipy.sparse.csgraph import dijkstra
from scipy.sparse import csr_matrix

graph_sputnik=[0,3000, 3000, 3000, 3000, 3000, 3000, 1500, 1800, 1500, 1800, 2000, 1800, 1800, 1500]

df = pd.read_csv("1.csv", sep=";")
df2 = pd.read_csv("2.csv", sep=";")
mylist=df.values.tolist()
mylist2=df2.values.tolist()
N=(len(mylist))
m= (len(mylist2))
i=0

for i in range(0, N):
    for j in range(0, N):
        if mylist[i][j] !=0:
            mylist[i][j]=1/mylist[i][j]
for i in range(0, N):
    for j in range(i+1, N):
        if mylist[i][j] > 1/12.8 and i!=j and i!=0:
            mylist[i][j]=1/mylist2[i][j]
            mylist[j][i]=1/mylist2[j][i]
        if i!=0 and i!=j and mylist[i][j]==0:
            mylist[i][j]=1/graph_sputnik[i]

distance = dijkstra(mylist, return_predecessors=True)
print(distance[1])
```

# Вычисление оптимального пути для ДКМВ-радиосети

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	15/+	15/+	+/+	15/+	+/+
2		0	7/4	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	7/+	7/+	+/+	7/7	7/+	7/7	8/7
3			0	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	7/+	7/+	+/+	7/7	7/+	7/7	1/7
4				0	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	7/+	9/13
5					0	8/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	8/8	5/5
6						0	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	8/8	11/11
7							0	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+
8								0	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+
9									0	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+
10										0	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+
11											0	+/+	+/+	+/+	+/+
12												0	+/+	+/+	+/+
13													0	+/+	+/+
14														0	+/+
15															0

Рисунок 6. Оптимальный маршрут радиосети для времени 01:00/03:00

# Вычисление оптимального пути для ДКМВ-радиосети

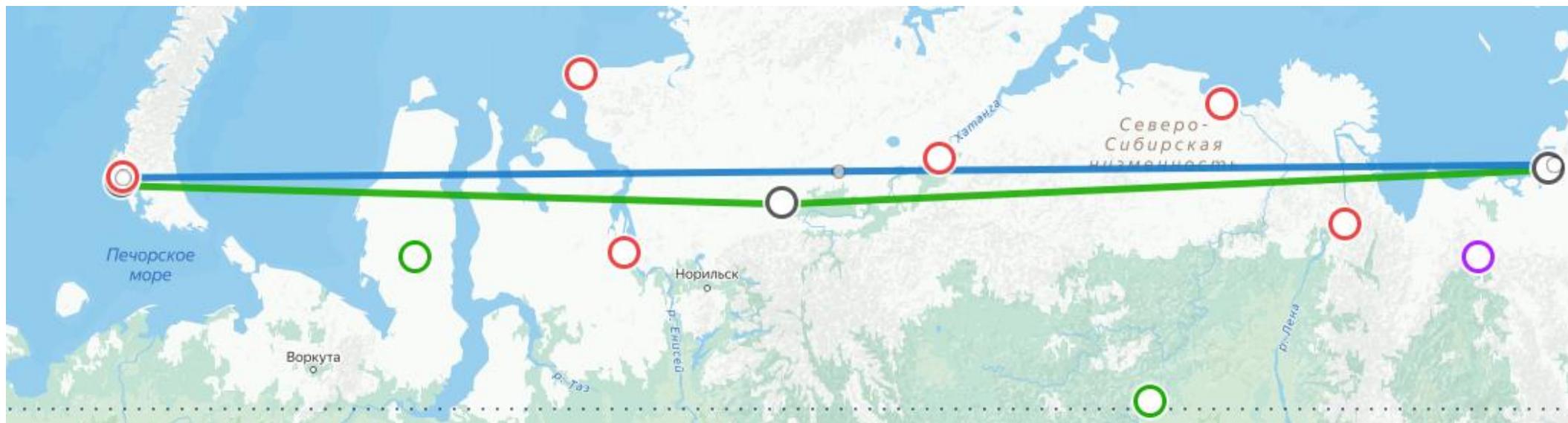


Рисунок 7. Визуальное представление оптимального маршрута для связи для пунктов 2-13.

# Вычисление оптимального пути для ДКМВ-радиосети

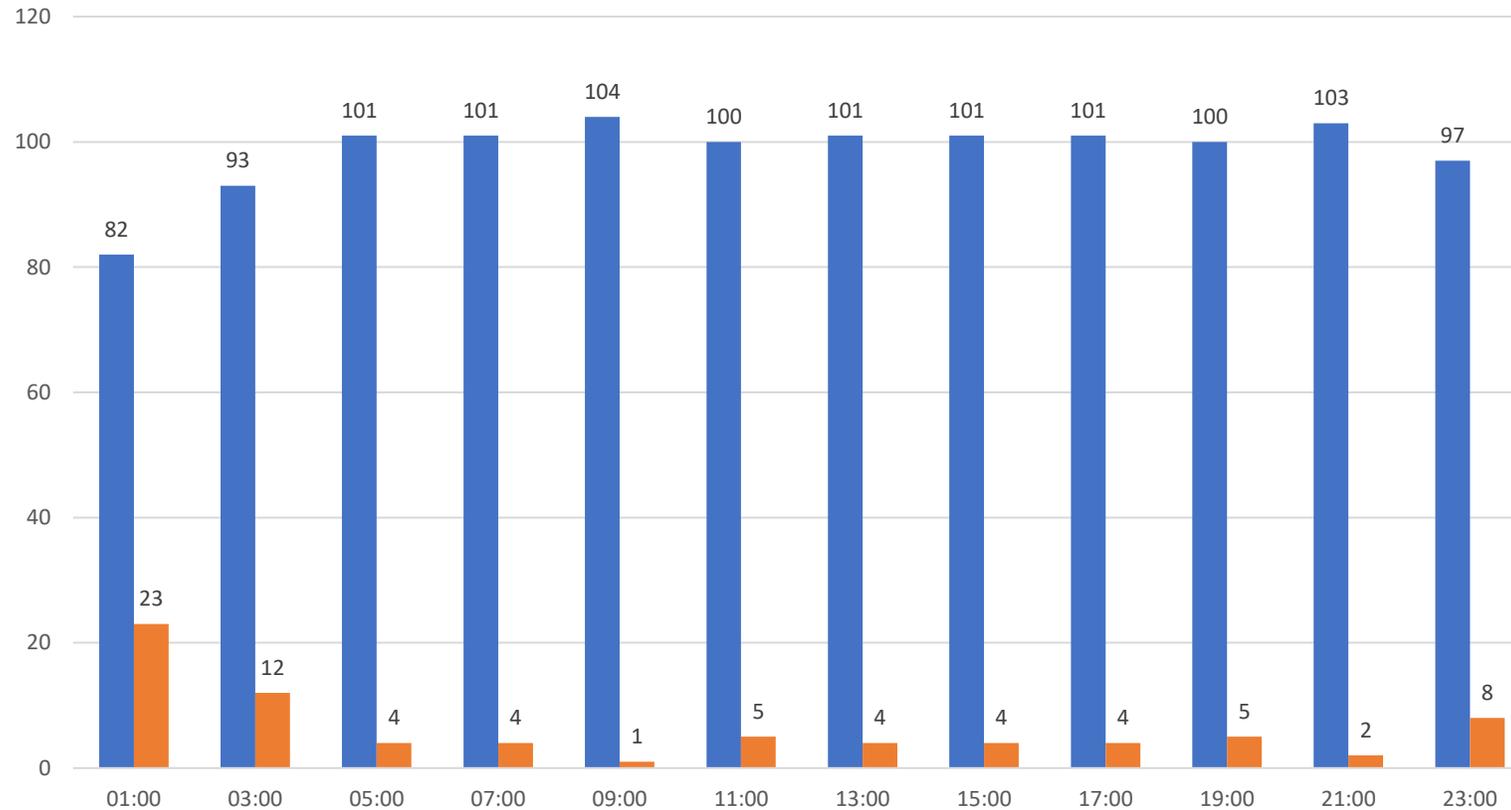


Рисунок 8. Зависимость количества радиолинии от времени суток. Синим – прямая радиосвязь. Оранжевым - связь с ретранслятором.

# Заключение

- В выпускной квалификационной работе было исследована модель радиосети КВ диапазона. Были описаны используемые подходы к построению КВ-радиолиний с учетом имеющихся особенностей распространения радиоволн. Изучили программное обеспечение для прогноза параметров радиосети. Получили результаты вычисления оптимальных маршрутов для Арктического региона России. Была определена скорость изменения оптимальных путей в течение суток.

## Список используемой литературы:

- 1) Ратклифф Дж. Введение в физику ионосферы и магнитосферы/Дж. Ратклифф; пер. с англ. А.В. Михайлова - Москва: Мир, 1975.-295 с.
- 2) Ришбет Г., Гарриот О.К. Введение в физику ионосферы/ Г. Ришбет, О.К. Гарриот; пер. с англ. И.В. Госачинского и Л.А. Камионко – Ленинград: Гидрометеиздат, 1975. – 305 с.
- 3) Харгривс Дж. К. Верхняя атмосфера и солнечно-земные связи/Дж.К. Харгривс; пер. с англ. А.Д. Данилова – Ленинград: Гидрометеиздат, 1982. – 353 с.
- 4) Дэвис К. Радиоволны в ионосфере/ К. Дэвис; пер. с англ. И.В. Ковалевского и А.П. Кропоткина – Москва: Мир,1973, - 504
- 5) Брюнелли Б.Е, Намгладзе А.А. Физика ионосферы – Москва: Наука, 1988. - 528 с.
- 6) Мизун Ю.Г. Ионосфера Земли – Москва: Наука,1985. -164 с.
- 7) Левитин, В. Ананий Алгоритм: введение в разработку и анализ/Левитин, Ананий В.; пер. с англ. – Москва: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 386-392 с.
- 8) Яковлев О.И., Якубов В.П., Урядов В.П., Павельев А.Г. Распространение радиоволн -Москва: ЛЕНАНД,2009. – 279-361 с.
- 9) Альперт Я.Л Распространение электромагнитных волн и ионосфера – Москва: Наука,1972. – 564
- 10) Альперт Я.Л., Гинзбург В.Л., Фейнберг Е.Л. Распространение радиоволн – Москва: Гос. изд-во технико-теоретической литературы,1953. - 278-680 с.
- 11) ICEPACK\_USER`S\_MANUAL\\[icepac\\_user\\_manual.PDF \(greg-hand.com\)](http://icepac_user_manual.PDF(greg-hand.com))
- 12) Романов, Ю. В. К вопросу о влиянии спектральной эффективности сигналов КВ модемов на их энергетическую эффективность / Ю. В. Романов // Радиолокация, навигация, связь: XXII международная научно-техническая конференция, Воронеж, 19–21 апреля 2016 года. Том 2. – Воронеж: НПФ «САКВОЕЕ», 2016. – С. 611-619.

Спасибо за внимание!