

Додаток А

Програма моделювання системи зв'язку міліметрового діапазону
хвиль_OUTDOOR_Accest в програмному забезпеченні MathLab

```

%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%
% Система зв'язку міліметрового діапазону хвиль
% IEEE 802.11ad 60ГГц
% Access link
% Розрахунок граничної швидкості передачі
% за формулою Шеннона
%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%
clear all;
close all;
clc;
min_distance = 0;
max_distance = 1600;
step_distance = 0.1;
size = 200;
distance = [min_distance:step_distance:max_distance]; % distance array (from 1
meter to max)
L_LOS = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії (дБм)
P_LOS_dBm= zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії (дБм)
P_LOS_mWatt= zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії (мВт)
O_LOS_dBm = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії O(дБм)
% ITU зона опадів H
P_LOS_dBm_H = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії (дБм)
P_LOS_mWatt_H = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії (мВт)
O_LOS_dBm = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії O(дБм)

```

```

R_LOS_dBm_H = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії R(дБм)
% ITU зона опадів K
P_LOS_dBm_K = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії (дБм)
P_LOS_mWatt_K = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії (мВт)
O_LOS_dBm = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії O(дБм)
R_LOS_dBm_K = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії R(дБм)
% ITU зона опадів E
P_LOS_dBm_E = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії (дБм)
P_LOS_mWatt_E = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії (мВт)
R_LOS_dBm_E = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії R(дБм)
ShannonCapacity_LOS = zeros(length(distance),1); %
ShannonCapacity_LOS_H = zeros(length(distance),1);
ShannonCapacity_LOS_K = zeros(length(distance),1);
ShannonCapacity_LOS_E = zeros(length(distance),1);
F_sc = 60; % Несуча частота в ГГц
G_tx = 0; % Коефіцієнт посилення передавальної антени
G_rx = 14.5; % Коефіцієнт посилення приймальної антени
P_tx = 42; % Потужність передавача (дБм)
EIRP_tx = 43; % Equivalent Isotropically radiation power (дБм)
BW = 2160*1e6; % Смуга пропускання каналу (МГц)
Loss_oc = 16; % Загасання в кисні O (дБ/км)
Loss_r = 0.4; % Загасання у дощі Rain (дБ/км)

Loss_implementation = 0; %10; коефіцієнт шуму
Loss_noise_figure = 0; %5; коефіцієнт шуму
N_dBm = -174 + 10*log10(BW) + Loss_implementation + Loss_noise_figure;%
Потужність шуму (дБ)
N_mWatt = 10^(N_dBm/10); % Потужність шуму (мВт)
for idx = 1:length(distance)
L_LOS(idx, 1) = 82.02 + 10 * 4.0 * log10(distance(1,idx)/5);

```

```

O_LOS(idx, 1) = 16 * distance(1,idx)/1000;
R_LOS(idx, 1) = 0.001 * distance(1,idx)/1000;
P_LOS_dBm(idx, 1) = EIRP_tx - L_LOS(idx,1) - O_LOS(idx,1) - R_LOS(idx,1)+
G_rx;% Загасання сигналу в
лінії (дБм)
P_LOS_mWatt(idx, 1) = 10^(P_LOS_dBm(idx, 1)/10); %Загасання сигналу в лінії
(мВт)
ShannonCapacity_LOS(idx, 1) = BW * log2(1 + P_LOS_mWatt(idx, 1)/N_mWatt);
end
for idx = 1:length(distance)
L_LOS(idx, 1) = 82.02 + 10 * 4.0 * log10(distance(1,idx)/5);
O_LOS(idx, 1) = 16 * distance(1,idx)/1000;
R_LOS_E(idx, 1) = 3.5 * distance(1,idx)/1000;
P_LOS_dBm_E(idx, 1) = EIRP_tx - L_LOS(idx,1) - O_LOS(idx,1) -
R_LOS_E(idx,1)+ G_rx;% Загасання сигналу в лінії (дБм)
P_LOS_mWatt_E(idx, 1) = 10^(P_LOS_dBm_E(idx, 1)/10); % Загасання сигналу в
лінії (мВт)
ShannonCapacity_LOS_E(idx, 1) = BW * log2(1 + P_LOS_mWatt_E(idx,
1)/N_mWatt);
end
for idx = 1:length(distance)
L_LOS(idx, 1) = 82.02 + 10 * 4.0 * log10(distance(1,idx)/5);
O_LOS(idx, 1) = 16 * distance(1,idx)/1000;
R_LOS_H(idx, 1) = 4.9 * distance(1,idx)/1000;
P_LOS_dBm_H(idx, 1) = EIRP_tx - L_LOS(idx,1) - O_LOS(idx,1) -
R_LOS_H(idx,1)+ G_rx;% Загасання сигналу в лінії (дБм)
P_LOS_mWatt_H(idx, 1) = 10^(P_LOS_dBm_H(idx, 1)/10); % Загасання сигналу
в лінії (мВт)
ShannonCapacity_LOS_H(idx, 1) = BW * log2(1 + P_LOS_mWatt_H(idx,
1)/N_mWatt);

```

```

end
for idx = 1:length(distance)
L_LOS(idx, 1) = 82.02 + 10 * 4.0 * log10(distance(1,idx)/5);
O_LOS(idx, 1) = 16 * distance(1,idx)/1000;
R_LOS_K(idx, 1) = 7.0 * distance(1,idx)/1000;
P_LOS_dBm_K(idx, 1) = EIRP_tx - L_LOS(idx,1) - O_LOS(idx,1) -
R_LOS_K(idx,1)+ G_rx;% Загасання сигналу в лінії (дБм)
P_LOS_mWatt_K(idx, 1) = 10^(P_LOS_dBm_K(idx, 1)/10); % Загасання сигналу
в лінії (мВт)
ShannonCapacity_LOS_K(idx, 1) = BW * log2(1 + P_LOS_mWatt_K(idx,
1)/N_mWatt);
end
font_size = 12;
line_size = 1;
line_width = 2;
hFig = figure(1);

x=700; y=200; width = 700; height=400;
plot(distance', ShannonCapacity_LOS/1e9,'-k','LineWidth',line_size+2.0);
hold on
plot(distance', ShannonCapacity_LOS_E/1e9,':b','LineWidth',line_size+1.0);
hold on
plot(distance', ShannonCapacity_LOS_H/1e9,'--g','LineWidth',line_size+1.0);
hold on
plot(distance', ShannonCapacity_LOS_K/1e9,'-r','LineWidth',line_size+1.0);
hold on
axis([5 250 0 6]);
grid on
title('Achievable Rates Shannon - Access link 60 GHz','FontSize',font_size);
xlabel('Distance (meter)','FontSize',font_size);

```

```
ylabel('Achievable rates (Gbps)','FontSize',font_size);  
legend('Achievable Rates Shannon','ITU zona E (AR=99,9%)','ITU zona H  
(AR=99,9%)','ITU zona K  
(AR=99,9%)','Location','North');  
set(hFig, 'Position', [x y width height])  
set(gca,'FontSize',font_size)
```

Додаток Б

Програма моделювання системи зв'язку міліметрового діапазону
хвиль_Corridor в програмному забезпеченні MathLab

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Система зв'язку міліметрового діапазону хвиль
%IEEE 802.11ad 60ГГц
%Mikrotik Wireless Wire RBwAPG-60ad и RBLHGG-60ad
%korridor link
% Розрахунок граничної швидкості передачі
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
clear all;
close all;
clc;
min_distance = 0;
max_distance = 1600;
step_distance = 0.1;
size = 200;
distance = [min_distance:step_distance:max_distance]; % distance array (from 1
meter to max)
L_LOS = zeros(length(distance),1);
P_LOS_dBm = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії (дБм)
P_LOS_mWatt = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії (мВт)
ShannonCapacity_LOS = zeros(length(distance),1);
MCS_LOS = zeros(length(distance),1);
MCS_distance = zeros(12,2);
WiGigRate_LOS = zeros(length(distance),1);
WiGigRate_LOS_2 = zeros(length(distance),1);

```

```

%Mikrotik Wireless Wire RBwAPG-60ad
G_tx = 13.5; % ККД антени передавача
G_rx = 13.5; % ККД антени передавача
P_tx = 24; % Потужність передавача (дБм)
BW = 2160*1e6; % Полоса пропускання (МГц)
Loss_implementation = 10;
Loss_noise_figure = 5;
N_dBm = -174 + 10*log10(BW) + Loss_implementation + Loss_noise_figure;%
Потужність шуму (дБ)
N_mWatt = 10^(N_dBm/10); % Потужність шуму (мВт)
for idx = 1:length(distance)
L_LOS(idx, 1) = 50.5 + 20 * log10(60) + 20 * log10(distance(1,idx))+ 5; % Модель
загасання LOS
P_LOS_dBm(idx, 1) = 43 - L_LOS(idx,1) + G_rx; % Загасання сигналу в лінії
(дБм)
P_LOS_mWatt(idx, 1) = 10^(P_LOS_dBm(idx, 1)/10); % Загасання сигналу в лінії
(мВт)
%ShannonCapacity_LOS(idx, 1) = BW * log2(1 + P_LOS_mWatt(idx,
1)/N_mWatt);
if P_LOS_dBm(idx, 1) < -78
MCS_LOS(idx, 1) = -1;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 0;
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -68
MCS_LOS(idx, 1) = 0;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 27.5*1e6;
if MCS_distance(1,1) == 0
MCS_distance(1,1) = distance(1,idx);
%MCS_distance(1,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);

end

```

```

elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -66
MCS_LOS(idx, 1) = 1;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 385*1e6;
if MCS_distance(2,1) == 0
MCS_distance(2,1) = distance(1,idx);
%MCS_distance(2,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -65
MCS_LOS(idx, 1) = 2;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 770*1e6;
if MCS_distance(3,1) == 0
MCS_distance(3,1) = distance(1,idx);
%MCS_distance(3,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -64
MCS_LOS(idx, 1) = 3;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 962.5*1e6;
if MCS_distance(4,1) == 0
MCS_distance(4,1) = distance(1,idx);
%MCS_distance(4,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -63
MCS_LOS(idx, 1) = 4;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 1155*1e6;
if MCS_distance(5,1) == 0
MCS_distance(5,1) = distance(1,idx);
%MCS_distance(5,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -62
MCS_LOS(idx, 1) = 6;

```

```

WiGigRate_LOS(idx, 1) = 1540*1e6;
if MCS_distance(6,1) == 0
MCS_distance(6,1) = distance(1,idx);
% MCS_distance(6,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -61
MCS_LOS(idx, 1) = 7;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 1925*1e6;
if MCS_distance(7,1) == 0
MCS_distance(7,1) = distance(1,idx);
%MCS_distance(7,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -59
MCS_LOS(idx, 1) = 8;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 2310*1e6;
if MCS_distance(8,1) == 0
MCS_distance(8,1) = distance(1,idx);
%MCS_distance(8,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -55
MCS_LOS(idx, 1) = 9;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 2502.5*1e6;
if MCS_distance(9,1) == 0

MCS_distance(9,1) = distance(1,idx);
%MCS_distance(9,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -54
MCS_LOS(idx, 1) = 10;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 3080*1e6;

```

```

if MCS_distance(10,1) == 0
MCS_distance(10,1) = distance(1,idx);
%MCS_distance(10,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -53
MCS_LOS(idx, 1) = 11;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 3850*1e6;
if MCS_distance(11,1) == 0
MCS_distance(11,1) = distance(1,idx);
%MCS_distance(11,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
else
MCS_LOS(idx, 1) = 12;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 4620 *1e6;
if MCS_distance(12,1) == 0
MCS_distance(12,1) = distance(1,idx);
%MCS_distance(12,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
end
end
end
%Mikrotik Wireless Wire RBLHGG-60ad
G_tx = 35; %
G_rx = 35; %
P_tx = 24; % Потужність передавача (дБм)
BW = 2160*1e6; % Полоса пропускання (МГц)
Loss_implementation = 10;
Loss_noise_figure = 5;
N_dBm = -174 + 10*log10(BW) + Loss_implementation + Loss_noise_figure;%
Потужність шуму (дБ)
N_mWatt = 10^(N_dBm/10); Потужність шуму (мВт)

```

```

for idx = 1:length(distance)
L_LOS(idx, 1) = 32.5 + 20 * log10(60) + 20 * log10(distance(1,idx))+5; % Модель
загасання LOS
P_LOS_dBm(idx, 1) = 43 - L_LOS(idx,1) + G_rx; % Загасання сигналу в лінії
(дБм)
P_LOS_mWatt(idx, 1) = 10^(P_LOS_dBm(idx, 1)/10); % Загасання сигналу в лінії
(мВт)
%ShannonCapacity_LOS(idx, 1) = BW * log2(1 + P_LOS_mWatt(idx,
1)/N_mWatt);
if P_LOS_dBm(idx, 1) < -78
MCS_LOS(idx, 1) = -1;
WiGigRate_LOS_2(idx, 1) = 0;
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -68
MCS_LOS(idx, 1) = 0;
WiGigRate_LOS_2(idx, 1) = 27.5*1e6;
if MCS_distance(1,1) == 0
MCS_distance(1,1) = distance(1,idx);
%MCS_distance(1,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);

end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -66
MCS_LOS(idx, 1) = 1;
WiGigRate_LOS_2(idx, 1) = 385*1e6;
if MCS_distance(2,1) == 0
MCS_distance(2,1) = distance(1,idx);
%MCS_distance(2,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -65
MCS_LOS(idx, 1) = 2;
WiGigRate_LOS_2(idx, 1) = 770*1e6;

```

```

if MCS_distance(3,1) == 0
MCS_distance(3,1) = distance(1,idx);
%MCS_distance(3,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -64
MCS_LOS(idx, 1) = 3;
WiGigRate_LOS_2(idx, 1) = 962.5*1e6;
if MCS_distance(4,1) == 0
MCS_distance(4,1) = distance(1,idx);
%MCS_distance(4,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -63
MCS_LOS(idx, 1) = 4;
WiGigRate_LOS_2(idx, 1) = 1155*1e6;
if MCS_distance(5,1) == 0
MCS_distance(5,1) = distance(1,idx);
%MCS_distance(5,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -62
MCS_LOS(idx, 1) = 6;
WiGigRate_LOS_2(idx, 1) = 1540*1e6;
if MCS_distance(6,1) == 0
MCS_distance(6,1) = distance(1,idx);
%MCS_distance(6,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -61
MCS_LOS(idx, 1) = 7;
WiGigRate_LOS_2(idx, 1) = 1925*1e6;
if MCS_distance(7,1) == 0
MCS_distance(7,1) = distance(1,idx);

```

```

%MCS_distance(7,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -59
MCS_LOS(idx, 1) = 8;
WiGigRate_LOS_2(idx, 1) = 2310*1e6;
if MCS_distance(8,1) == 0
MCS_distance(8,1) = distance(1,idx);
%MCS_distance(8,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -55
MCS_LOS(idx, 1) = 9;
WiGigRate_LOS_2(idx, 1) = 2502.5*1e6;
if MCS_distance(9,1) == 0

MCS_distance(9,1) = distance(1,idx);
%MCS_distance(9,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -54
MCS_LOS(idx, 1) = 10;
WiGigRate_LOS_2(idx, 1) = 3080*1e6;
if MCS_distance(10,1) == 0
MCS_distance(10,1) = distance(1,idx);
%MCS_distance(10,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -53
MCS_LOS(idx, 1) = 11;
WiGigRate_LOS_2(idx, 1) = 3850*1e6;
if MCS_distance(11,1) == 0
MCS_distance(11,1) = distance(1,idx);
%MCS_distance(11,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);

```

```

end
else
MCS_LOS(idx, 1) = 12;
WiGigRate_LOS_2(idx, 1) = 4620 *1e6;
if MCS_distance(12,1) == 0
MCS_distance(12,1) = distance(1,idx);
%MCS_distance(12,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
end
end

MCS_00 = ones(1,length(distance)) * 0.0275;
MCS_01 = ones(1,length(distance)) * 0.385;
MCS_02 = ones(1,length(distance)) * 0.770;
MCS_03 = ones(1,length(distance)) * 0.9625;
MCS_04 = ones(1,length(distance)) * 1.155;
MCS_06 = ones(1,length(distance)) * 1.540;
MCS_07 = ones(1,length(distance)) * 1.925;
MCS_08 = ones(1,length(distance)) * 2.310;
MCS_09 = ones(1,length(distance)) * 2.5025;
MCS_10 = ones(1,length(distance)) * 3.080;
MCS_11 = ones(1,length(distance)) * 3.850;
MCS_12 = ones(1,length(distance)) * 4.620;
font_size = 12;
line_size = 1;
line_width = 2;
hFig = figure(1);
x=700; y=200; width = 700; height=400;
%plot(distance', ShannonCapacity_LOS/1e9,'r','LineWidth',line_size+2.5);
%hold on

```

```

plot(distance', WiGigRate_LOS_2/1e9,'r','LineWidth',line_size+0.5);
hold on

plot(distance', WiGigRate_LOS/1e9,'b','LineWidth',line_size+0.5);
hold on

axis([5 1300 0 7])
grid on
title('Achievable Rates IEEE 802.11ad - Indoor korridor','FontSize',font_size);
xlabel('Distance (meter)','FontSize',font_size);
ylabel('Achievable rates (Gbps)','FontSize',font_size);
legend('Mikrotik Wireless Wire RBLHGG-60ad','Mikrotik Wireless Wire RBwAPG-
60ad',
'Location','North');

plot(distance,MCS_00,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_01,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_02,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_03,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_04,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_06,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_07,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_08,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_09,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_10,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_11,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_12,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
text(1200,0.0275,      ['MCS      0'],      'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);

```

```

text(1200,0.3850,      ['MCS      1'],      'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(1200,0.7700,      ['MCS      2'],      'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(1050,0.9625,      ['MCS      3'],      'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(1200,1.1550,      ['MCS      4'],      'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(1200,1.5400,      ['MCS      6'],      'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(1200,2.0080,      ['MCS      7'],      'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(1050,2.3100,      ['MCS      8'],      'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(1200,2.4800,      ['MCS      9'],      'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(1200,3.0800,      ['MCS     10'],      'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(1200,3.7500,      ['MCS     11'],      'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(1200,4.6200,      ['MCS     12'],      'HorizontalAlignment','Right',

```

```
'VerticalAlignment','Bottom',  
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);  
set(hFig, 'Position', [x y width height])  
set(gca,'FontSize',font_size)
```

Додаток В

Программа моделювання системи зв'язи міліметрового
діапазона _INDOOR_LOS в програмному забезпеченні MathLab

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Система зв'язку міліметрового діапазону хвиль
%IEEE 802.11ad 60ГГц
%Indor LOS link A=75 n=2 X=1,5 G=24
% Розрахунок граничної швидкості передачі
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
clear all;
close all;
clc;
min_distance = 0;
max_distance = 1600;
step_distance = 0.1;
size = 200;
distance = [min_distance:step_distance:max_distance]; % distance array (from
1 meter to max)
L_LOS = zeros(length(distance),1);
P_LOS_dBm = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії (дБм)
P_LOS_mWatt = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії
(мВт)
ShannonCapacity_LOS = zeros(length(distance),1);
MCS_LOS = zeros(length(distance),1);
MCS_distance = zeros(12,2);
WiGigRate_LOS = zeros(length(distance),1);
G_tx = 24; %

```

```

G_rx = 24; %
P_tx = 19; % Потужність передавача (дБм)
BW = 2160*1e6; % Полоса пропускання (МГц)
Loss_implementation = 10;
Loss_noise_figure = 5;
N_dBm = -174 + 10*log10(BW) + Loss_implementation +
Loss_noise_figure;% Потужність шуму (дБ)
N_mWatt = 10^(N_dBm/10); % Потужність шуму (мВт)
for idx = 1:length(distance)
L_LOS(idx, 1) = 75.6 + 10 * 2.0 * log10(distance(1,idx)/1) + 1.5; % Модель
загасання LOS
P_LOS_dBm(idx, 1) = 23 - L_LOS(idx,1) + G_rx; % Загасання сигналу в
лінії (дБм)
P_LOS_mWatt(idx, 1) = 10^(P_LOS_dBm(idx, 1)/10); % Загасання сигналу
в лінії (мВт)
ShannonCapacity_LOS(idx, 1) = BW * log2(1 + P_LOS_mWatt(idx,
1)/N_mWatt);
if P_LOS_dBm(idx, 1) < -78
MCS_LOS(idx, 1) = -1;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 0;
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -68
MCS_LOS(idx, 1) = 0;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 27.5*1e6;
if MCS_distance(1,1) == 0
MCS_distance(1,1) = distance(1,idx);
MCS_distance(1,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -66
MCS_LOS(idx, 1) = 1;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 385*1e6;

```

```

if MCS_distance(2,1) == 0
MCS_distance(2,1) = distance(1,idx);
MCS_distance(2,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);

end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -65
MCS_LOS(idx, 1) = 2;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 770*1e6;
if MCS_distance(3,1) == 0
MCS_distance(3,1) = distance(1,idx);
MCS_distance(3,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -64
MCS_LOS(idx, 1) = 3;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 962.5*1e6;
if MCS_distance(4,1) == 0
MCS_distance(4,1) = distance(1,idx);
MCS_distance(4,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -63
MCS_LOS(idx, 1) = 4;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 1155*1e6;
if MCS_distance(5,1) == 0
MCS_distance(5,1) = distance(1,idx);
MCS_distance(5,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -62
MCS_LOS(idx, 1) = 6;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 1540*1e6;
if MCS_distance(6,1) == 0

```

```

MCS_distance(6,1) = distance(1,idx);
MCS_distance(6,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -61
MCS_LOS(idx, 1) = 7;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 1925*1e6;
if MCS_distance(7,1) == 0
MCS_distance(7,1) = distance(1,idx);
MCS_distance(7,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -59
MCS_LOS(idx, 1) = 8;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 2310*1e6;
if MCS_distance(8,1) == 0
MCS_distance(8,1) = distance(1,idx);
MCS_distance(8,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -55
MCS_LOS(idx, 1) = 9;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 2502.5*1e6;
if MCS_distance(9,1) == 0
MCS_distance(9,1) = distance(1,idx);
MCS_distance(9,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -54
MCS_LOS(idx, 1) = 10;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 3080*1e6;
if MCS_distance(10,1) == 0

MCS_distance(10,1) = distance(1,idx);

```

```

MCS_distance(10,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -53
MCS_LOS(idx, 1) = 11;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 3850*1e6;
if MCS_distance(11,1) == 0
MCS_distance(11,1) = distance(1,idx);
MCS_distance(11,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
else
MCS_LOS(idx, 1) = 12;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 4620 *1e6;
if MCS_distance(12,1) == 0
MCS_distance(12,1) = distance(1,idx);
MCS_distance(12,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
end
end

MCS_00 = ones(1,length(distance)) * 0.0275;
MCS_01 = ones(1,length(distance)) * 0.385;
MCS_02 = ones(1,length(distance)) * 0.770;
MCS_03 = ones(1,length(distance)) * 0.9625;
MCS_04 = ones(1,length(distance)) * 1.155;
MCS_06 = ones(1,length(distance)) * 1.540;
MCS_07 = ones(1,length(distance)) * 1.925;
MCS_08 = ones(1,length(distance)) * 2.310;
MCS_09 = ones(1,length(distance)) * 2.5025;
MCS_10 = ones(1,length(distance)) * 3.080;
MCS_11 = ones(1,length(distance)) * 3.850;

```

```

MCS_12 = ones(1,length(distance)) * 4.620;
font_size = 12;
line_size = 1;
line_width = 2;
hFig = figure(1);
x=700; y=200; width = 700; height=400;
plot(distance, ShannonCapacity_LOS/1e9,'k','LineWidth',line_size+2.5);
hold on
plot(distance, WiGigRate_LOS/1e9,'b','LineWidth',line_size+0.5);
hold on
axis([5 120 0 6])
grid on
title('Achievable Rates IEEE 802.11ad - Indoor LOS link 60
GHz','FontSize',font_size);
xlabel('Distance (meter)','FontSize',font_size);
ylabel('Achievable rates (Gbps)','FontSize',font_size);
legend('Achievable Rates Shannon', 'Achievable Rates IEEE 802.11ad',
'Location','North');
plot(distance,MCS_00,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_01,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_02,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;

plot(distance,MCS_03,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_04,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_06,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_07,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_08,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_09,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_10,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_11,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;

```

```

plot(distance,MCS_12,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
text(120,0.0275,      ['MCS      0'],      'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(120,0.3850,      ['MCS      1'],      'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(120,0.7700,      ['MCS      2'],      'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(105,0.9625,      ['MCS      3'],      'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(120,1.1550,      ['MCS      4'],      'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(120,1.5400,      ['MCS      6'],      'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(120,2.0080,      ['MCS      7'],      'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(105,2.3100,      ['MCS      8'],      'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(120,2.4800,      ['MCS      9'],      'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(120,3.0800,      ['MCS     10'],      'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',

```

```
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(120,3.7500, ['MCS 11'], 'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(120,4.6200, ['MCS 12'], 'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
set(hFig, 'Position', [x y width height])
set(gca,'FontSize',font_size)
```

Додаток Г

Программа моделювання системи зв'язку міліметрового
діапазону_INDOOR_NLOS в програмному забезпеченні MathLab

```

%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%
% Система зв'язку міліметрового діапазону хвиль
%IEEE 802.11ad 60ГГц
%Indor NLOS link
% Розрахунок граничної швидкості передачі
%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%
clear all;
close all;
clc;
min_distance = 0;
max_distance = 1600;
step_distance = 0.1;
size = 200;
distance = [min_distance:step_distance:max_distance]; % distance array (from 1
meter to max)
L_LOS = zeros(length(distance),1);
P_LOS_dBm = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії (дБм)
P_LOS_mWatt = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії (мВт)
ShannonCapacity_LOS = zeros(length(distance),1);
MCS_LOS = zeros(length(distance),1);
MCS_distance = zeros(12,2);
WiGigRate_LOS = zeros(length(distance),1);
G_tx = 24; %
G_rx = 24.5; %

```

```

P_tx = 19; % Мощность передатчика (дБм)
BW = 2160*1e6; % Полоса пропускания (МГц)
Loss_implementation = 10;
Loss_noise_figure = 5;
N_dBm = -174 + 10*log10(BW) + Loss_implementation + Loss_noise_figure;%
Потужність шуму (дБ)
N_mWatt = 10^(N_dBm/10); % Потужність шуму (мВт)
for idx = 1:length(distance)
L_LOS(idx, 1) = 35.0 + 10 * 5.0 * log10(distance(1,idx)/1) + 5.0; % Модель
загасання LOS
P_LOS_dBm(idx, 1) = 23 - L_LOS(idx,1) + G_rx; % Загасання сигналу в лінії
(дБм)
P_LOS_mWatt(idx, 1) = 10^(P_LOS_dBm(idx, 1)/10); % Загасання сигналу в лінії
(мВт)
ShannonCapacity_LOS(idx, 1) = BW * log2(1 + P_LOS_mWatt(idx, 1)/N_mWatt);
if P_LOS_dBm(idx, 1) < -78
MCS_LOS(idx, 1) = -1;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 0;
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -68
MCS_LOS(idx, 1) = 0;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 27.5*1e6;
if MCS_distance(1,1) == 0
MCS_distance(1,1) = distance(1,idx);
MCS_distance(1,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -66
MCS_LOS(idx, 1) = 1;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 385*1e6;
if MCS_distance(2,1) == 0
MCS_distance(2,1) = distance(1,idx);

```

```

MCS_distance(2,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);

end

elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -65
MCS_LOS(idx, 1) = 2;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 770*1e6;
if MCS_distance(3,1) == 0
MCS_distance(3,1) = distance(1,idx);
MCS_distance(3,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end

elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -64
MCS_LOS(idx, 1) = 3;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 962.5*1e6;
if MCS_distance(4,1) == 0
MCS_distance(4,1) = distance(1,idx);
MCS_distance(4,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end

elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -63
MCS_LOS(idx, 1) = 4;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 1155*1e6;
if MCS_distance(5,1) == 0
MCS_distance(5,1) = distance(1,idx);
MCS_distance(5,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end

elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -62
MCS_LOS(idx, 1) = 6;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 1540*1e6;
if MCS_distance(6,1) == 0
MCS_distance(6,1) = distance(1,idx);
MCS_distance(6,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);

```

```

end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -61
MCS_LOS(idx, 1) = 7;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 1925*1e6;
if MCS_distance(7,1) == 0
MCS_distance(7,1) = distance(1,idx);
MCS_distance(7,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -59
MCS_LOS(idx, 1) = 8;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 2310*1e6;
if MCS_distance(8,1) == 0
MCS_distance(8,1) = distance(1,idx);
MCS_distance(8,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -55
MCS_LOS(idx, 1) = 9;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 2502.5*1e6;
if MCS_distance(9,1) == 0
MCS_distance(9,1) = distance(1,idx);
MCS_distance(9,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -54
MCS_LOS(idx, 1) = 10;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 3080*1e6;
if MCS_distance(10,1) == 0

MCS_distance(10,1) = distance(1,idx);
MCS_distance(10,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end

```

```

elseif P_LOS_dBm(idx, 1) < -53
MCS_LOS(idx, 1) = 11;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 3850*1e6;
if MCS_distance(11,1) == 0
MCS_distance(11,1) = distance(1,idx);
MCS_distance(11,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
else
MCS_LOS(idx, 1) = 12;
WiGigRate_LOS(idx, 1) = 4620 *1e6;
if MCS_distance(12,1) == 0
MCS_distance(12,1) = distance(1,idx);
MCS_distance(12,2) = ShannonCapacity_LOS(idx,1);
end
end
end

MCS_00 = ones(1,length(distance)) * 0.0275;
MCS_01 = ones(1,length(distance)) * 0.385;
MCS_02 = ones(1,length(distance)) * 0.770;
MCS_03 = ones(1,length(distance)) * 0.9625;
MCS_04 = ones(1,length(distance)) * 1.155;
MCS_06 = ones(1,length(distance)) * 1.540;
MCS_07 = ones(1,length(distance)) * 1.925;
MCS_08 = ones(1,length(distance)) * 2.310;
MCS_09 = ones(1,length(distance)) * 2.5025;
MCS_10 = ones(1,length(distance)) * 3.080;
MCS_11 = ones(1,length(distance)) * 3.850;
MCS_12 = ones(1,length(distance)) * 4.620;
font_size = 12;

```

```

line_size = 1;
line_width = 2;
hFig = figure(1);
x=700; y=200; width = 700; height=400;
plot(distance, ShannonCapacity_LOS/1e9,'k','LineWidth',line_size+2.5);
hold on
plot(distance, WiGigRate_LOS/1e9,'b','LineWidth',line_size+0.5);
hold on
%semilogx(Bs,Skr1(:,:),Bs,Skr2(:,:),Bs,Skr3(:,:));
semilogx(distance,ShannonCapacity_LOS(:,:));
axis([5 120 0 6])
grid on
title('Achievable Rates IEEE 802.11ad - Indoor NLOS link 60
GHz','FontSize',font_size);
xlabel('Distance (meter)','FontSize',font_size);
ylabel('Achievable rates (Gbps)','FontSize',font_size);
legend('Achievable Rates Shannon', 'Achievable Rates IEEE 802.11ad',
'Location','North');

plot(distance,MCS_00,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_01,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_02,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_03,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_04,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_06,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_07,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_08,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_09,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_10,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
plot(distance,MCS_11,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;

```

```
plot(distance,MCS_12,'k:','LineWidth',line_width-1); hold on; %grid on;
text(120,0.0275, ['MCS 0'], 'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(120,0.3850, ['MCS 1'], 'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(120,0.7700, ['MCS 2'], 'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(105,0.9625, ['MCS 3'], 'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(120,1.1550, ['MCS 4'], 'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(120,1.5400, ['MCS 6'], 'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(120,2.0080, ['MCS 7'], 'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(105,2.3100, ['MCS 8'], 'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(120,2.4800, ['MCS 9'], 'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);
text(120,3.0800, ['MCS 10'], 'HorizontalAlignment','Right',
'VerticalAlignment','Bottom',
```

```
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);  
text(120,3.7500, ['MCS 11'], 'HorizontalAlignment','Right',  
'VerticalAlignment','Bottom',  
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);  
text(120,4.6200, ['MCS 12'], 'HorizontalAlignment','Right',  
'VerticalAlignment','Bottom',  
'BackgroundColor',[.9 .9 .7]);  
set(hFig, 'Position', [x y width height])  
set(gca,'FontSize',font_size)
```

Додаток Д

Програма моделювання системи зв'язку міліметрового діапазону_OUTDOOR в програмному забезпеченні MathLab

```

%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%
% Система зв'язку міліметрового діапазону хвиль
% IEEE 802.11ad 60ГГц
% Backhaul link
% Розрахунок граничної швидкості передачі
% за формулою Шеннона
%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%
clear all;
close all;
clc;
min_distance = 0;
max_distance = 1600;
step_distance = 0.1;
size = 200;
distance = [min_distance:step_distance:max_distance]; % distance array (from 1
meter to max)
L_LOS = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії (дБм)
P_LOS_dBm= zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії (дБм)
P_LOS_mWatt= zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії (мВт)
O_LOS_dBm = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії O(дБм)
% ITU зона опадів H
P_LOS_dBm_H = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії (дБм)
P_LOS_mWatt_H = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії (мВт)
O_LOS_dBm = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії O(дБм)

```

```

R_LOS_dBm_H = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії R(дБм)
% ITU зона опадів K
P_LOS_dBm_K = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії (дБм)
P_LOS_mWatt_K = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії (мВт)
O_LOS_dBm = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії O(дБм)
R_LOS_dBm_K = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії R(дБм)
% ITU зона опадів E
P_LOS_dBm_E = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії (дБм)
P_LOS_mWatt_E = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії (мВт)
R_LOS_dBm_E = zeros(length(distance),1); % Загасання сигналу в лінії R(дБм)
ShannonCapacity_LOS = zeros(length(distance),1); %
ShannonCapacity_LOS_H = zeros(length(distance),1);
ShannonCapacity_LOS_K = zeros(length(distance),1);
ShannonCapacity_LOS_E = zeros(length(distance),1);
F_sc = 60; % Несуча частота в ГГц
G_tx = 0; % Коефіцієнт посилення передавальної антени
G_rx = 24.5; % Коефіцієнт посилення приймальної антени
P_tx = 42; % Потужність передавача (дБм)
EIRP_tx = 43; % Equivalent Isotropically radiation power (дБм)
BW = 2160*1e6; % Смуга пропускання каналу (МГц)
Loss_oc = 16; % Загасання в кисні O (дБ/км)
Loss_r = 0.4; % Загасання у дощі Rain (дБ/км)

Loss_implementation = 0; %10; коефіцієнт шуму
Loss_noise_figure = 0; %5; коефіцієнт шуму
N_dBm = -174 + 10*log10(BW) + Loss_implementation + Loss_noise_figure;%
Потужність шуму (дБ)
N_mWatt = 10^(N_dBm/10); % Потужність шуму (мВт)
for idx = 1:length(distance)
L_LOS(idx, 1) = 32.5 + 20 * log10(60) + 20 * log10(distance(1,idx)); % Модель

```

загасання LOS

$O_LOS(idx, 1) = 16 * distance(1, idx) / 1000;$

$R_LOS(idx, 1) = 0.001 * distance(1, idx) / 1000;$

$P_LOS_dBm(idx, 1) = EIRP_tx - L_LOS(idx, 1) - O_LOS(idx, 1) - R_LOS(idx, 1) + G_rx;$ % Загасання сигналу в

лінії (дБм)

$P_LOS_mWatt(idx, 1) = 10^{(P_LOS_dBm(idx, 1) / 10)};$ % Загасання сигналу в лінії (мВт)

$ShannonCapacity_LOS(idx, 1) = BW * \log_2(1 + P_LOS_mWatt(idx, 1) / N_mWatt);$

end

for $idx = 1 : \text{length}(\text{distance})$

$L_LOS(idx, 1) = 32.5 + 20 * \log_{10}(60) + 20 * \log_{10}(\text{distance}(1, idx));$

$O_LOS(idx, 1) = 16 * \text{distance}(1, idx) / 1000;$

$R_LOS_E(idx, 1) = 3.5 * \text{distance}(1, idx) / 1000;$ % Загасання сигналу в дощі для ITU zone E

$P_LOS_dBm_E(idx, 1) = EIRP_tx - L_LOS(idx, 1) - O_LOS(idx, 1) - R_LOS_E(idx, 1) + G_rx;$ % Загасання

сигналу в лінії (дБм)

$P_LOS_mWatt_E(idx, 1) = 10^{(P_LOS_dBm_E(idx, 1) / 10)};$ % Загасання сигналу в лінії (мВт)

$ShannonCapacity_LOS_E(idx, 1) = BW * \log_2(1 + P_LOS_mWatt_E(idx, 1) / N_mWatt);$

end

for $idx = 1 : \text{length}(\text{distance})$

$L_LOS(idx, 1) = 32.5 + 20 * \log_{10}(60) + 20 * \log_{10}(\text{distance}(1, idx));$

$O_LOS(idx, 1) = 16 * \text{distance}(1, idx) / 1000;$

$R_LOS_H(idx, 1) = 4.9 * \text{distance}(1, idx) / 1000;$ % Загасання сигналу в дощі для ITU zone H

$P_LOS_dBm_H(idx, 1) = EIRP_tx - L_LOS(idx, 1) - O_LOS(idx, 1) - R_LOS_H(idx, 1) + G_rx;$ % Загасання

сигналу в лінії (дБм)

$P_LOS_mWatt_H(idx, 1) = 10^{(P_LOS_dBm_H(idx, 1)/10)}$; % Загасання сигналу в лінії (мВт)

$ShannonCapacity_LOS_H(idx, 1) = BW * \log_2(1 + P_LOS_mWatt_H(idx, 1)/N_mWatt)$;

end

for idx = 1:length(distance)

$L_LOS(idx, 1) = 32.5 + 20 * \log_{10}(60) + 20 * \log_{10}(distance(1,idx))$;

$O_LOS(idx, 1) = 16 * distance(1,idx)/1000$;

$R_LOS_K(idx, 1) = 7.0 * distance(1,idx)/1000$; % Згасання сигналу в дощі для ITU zone K

$P_LOS_dBm_K(idx, 1) = EIRP_tx - L_LOS(idx,1) - O_LOS(idx,1) - R_LOS_K(idx,1) + G_rx$; % Згасання

сигналу в лінії (дБм)

$P_LOS_mWatt_K(idx, 1) = 10^{(P_LOS_dBm_K(idx, 1)/10)}$; % Згасання

сигналу в лінії (мВт)

$ShannonCapacity_LOS_K(idx, 1) = BW * \log_2(1 + P_LOS_mWatt_K(idx, 1)/N_mWatt)$;

end

font_size = 12;

line_size = 1;

line_width = 2;

hFig = figure(1);

x=700; y=200; width = 700; height=400;

plot(distance', ShannonCapacity_LOS/1e9, '-k', 'LineWidth', line_size+2.0);

hold on

plot(distance', ShannonCapacity_LOS_E/1e9, ':b', 'LineWidth', line_size+1.0);

hold on

plot(distance', ShannonCapacity_LOS_H/1e9, '--g', 'LineWidth', line_size+1.0);

```
hold on
plot(distance, ShannonCapacity_LOS_K/1e9,'-r','LineWidth',line_size+1.0);
hold on
axis([5 1500 0 20])
grid on
title('Achievable Rates Shannon - Backhaul link 60 GHz','FontSize',font_size);
xlabel('Distance (meter)','FontSize',font_size);
ylabel('Achievable rates (Gbps)','FontSize',font_size);
legend('Achievable Rates Shannon','ITU zona E (AR=99,9%)','ITU zona H
(AR=99,9%)','ITU zona K
(AR=99,9%)','Location','North');
set(hFig, 'Position', [x y width height])
set(gca,'FontSize',font_size)
```

Додаток Е

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

1. Мерзлікін А.О. Експериментальні дослідження пропускну́ї здатності каналу зв'язку міліметрового діапазону хвиль всередині приміщень / Журнал «Проблеми телекомунікацій». – 2022. – № 2 (31); – С. 23-33.
2. Аппаратурно-методическое обеспечение научно-прикладной радиометрии атмосферы / В.К. Волосюк, С.С.Жила, А.Д. Собколов, В.В. Павликов, Н.В. Руженцев, Д.С. Сальников, А.А. Мерзликин, А.И. Цопа // Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2019. – Выпуск № 196. – С. 5-21.
3. Кумулятивные функции вертикального атмосферного ослабления миллиметровых радиоволн над Харьковом / С.С.Жила, А.А. Мерзликин, А.В. Одокиенко, В.В. Павликов, Н.В. Руженцев, А.Д. Собколов, А.И. Цопа // Радиотехника. Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. – 2019. – Выпуск № 199. – С. 83-90.
4. Определение характеристик готовности и пропускной способности канала связи миллиметрового диапазона волн. / А.А. Мерзликин, Д.С.Сальников, А. Н. Битченко, Н.В. Руженцев, А. И. Цопа // Радиотехника. Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. – 2019. – Выпуск № 199. – С. 45-53.
5. Tsopa O., Dudka O., Merzlikin A., Astrashkov M. Performance Evaluation of 5G Millimeter-Wave Cellular Network in dense Urban Development / Journal Review of International Geographical Education. – SPRING, 2021; – №11(8); – pp. 1592-1600. (Scopus)
6. Мерзлікін А.І., Цопа О.І. Продуктивність каналу зв'язку стандарту IEEE 802.11.ad у коридорах будівель / International scientific journal «Grail of Science». – International Centre Corporative Management (Вінниця, Україна - Відень, Австрія). – 2022. Випуск №23. – С. 274-280.
7. Methodical maintenance of radiometric measurements of atmosphere at millimeter waves range / V. V. Pavlikov, N. V. Ruzhentsev, D. S. Salnikov,

A. I. Tsopa, A. O. Merzlikin // *Proc. of XIV International Conf. Modern problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science /TCSET'2018/*. – Lviv-Slavsko, 2018. – P.1-4. (Scopus)

8. Умрыхина Д., Цопа А.И., Мерзликин А.А. Построение и исследование канала связи миллиметрового диапазона 60 ГГц внутри помещения // *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Наукоємні технології в інфокомунікаціях» (НІСТ-2019)*. – Кам'янець-Подільський, 2019. – С. 128-129.

9. Merzlikin A., Tsopa O., Nikolay Ruzhentsev N. Cumulative Distribution of Rain Rate and Rain Attenuation in Ukraine // *3rd IEEE International Conference «Advanced Information and Communication Technologies» (AICT'2019, Lviv, Ukraine)*. – pp. 1-4. (Scopus)

10. Peculiarities of Microwaves Attenuation Statistics for Ukrainian Region // A. Merzlikin, V.Pavlikov, N. Ruzhentsev, A. Sobkolov, O.Tsopa, S. Zhyla // *10th International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW), IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW, Kharkiv, Ukraine, 2020)*; – pp. 761-764. (Scopus)

11. Tsopa O., Dudka O., Merzlikin A., Ruzhentsev N. Estimation of the bandwidth of the communication channel of 5G networks based on small cells // *IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering IEEE*. – (UKRCON, Lviv, Ukraine, 2021); – pp. 525-529. (Scopus)

12. Дослідження і оцінка роботи каналу зв'язку міліметрового діапазону/ В.В. Верягін, А.О. Мерзлікін // *Радіоелектроніка та молодь у ХХІ сторіччі: матеріали 24-го Міжнар. молодіжн. Форуму (МРФ), 7–9 квітн. 2020 г.* –Харків: ХНУРЕ, 2020. –Т. 3. – С. 149-150.

13. Проблеми енергоспоживання і маршрутизації в бездротових сенсорних мережах / І.В. Горбовцова, А.О. Мерзлікін // *Радіоелектроніка та молодь у ХХІ сторіччі: матеріали 24-го Міжнар. молодіжн. Форуму (МРФ), 7–9 квітн. 2020 г.* –Харків: ХНУРЕ, 2020.–Т. 3.–С. 143-144.

14. Мерзликин А.А. Особенности проектирования встраиваемых систем / 19-й

Международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» (МРФ). Сб. материалов форума. Т. 3. – Харьков: ХНУРЭ, 2015. – С. 152-153.

15. Tsopa O., Dudka O., Merzlikin A. Basic Technologies and Techniques ML/AI for Improving Physical Layer Security for 5G/6G Communication Systems // *Proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference*. Ankara, Turkey. 2023. – pp. 403-408.

Додаток Є

Довідки про практичне використання результатів дослідження



ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор

Харківського національного

університету радіоелектроніки

д.т.н., професор

І.В. Рубан

2023 р.

АКТ

про впровадження матеріалів дисертації на тему
«Методи та засоби підвищення продуктивності та готовності
каналів зв'язку міліметрового діапазону радіохвиль»
ст. викладача кафедри РТІКС ХНУРЕ Мерзлякіна Анатолія Олександровича,
представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю: 172 – Телекомунікації та радіотехніка

Комісія у складі – голови, заступника завідувача кафедри радіотехнологій інформаційно-комунікаційних систем (РТІКС), доцента, к.т.н. Зарудного О.А. та членів комісії – доцента кафедри РТІКС, к.т.н. Сайківської Л.Ф. та доцента кафедри РТІКС, к.т.н. Бітченка О.М. склали цей акт у тому, що матеріали дисертації Мерзлякіна А.О. впроваджені у навчальному процесі кафедри радіотехнологій інформаційно-комунікаційних систем та використовуються у лекційних курсах «Радіопередавальні пристрої», «Радіоприймальні пристрої», «Новітні напрямки розвитку ТКРТ» та при виконанні курсових робіт, бакалаврських та магістерських кваліфікаційних робіт, пов'язаних із розробкою та дослідженням сучасних безпроводових систем передачі інформації.

Голова комісії,

Зам. зав. каф. РТІКС, доцент, к.т.н.

О.А. Зарудний

Члени комісії:

Доцент каф. РТІКС, к.т.н.

Л.Ф. Сайківська

Доцент каф. РТІКС, к.т.н.

О.М. Бітченко