

## Кафедра Телекоммуникаций и основ радиотехники



Тема учебно-исследовательской работы:

### **«Разработка системы передачи данных с низкоплотностным кодированием».**

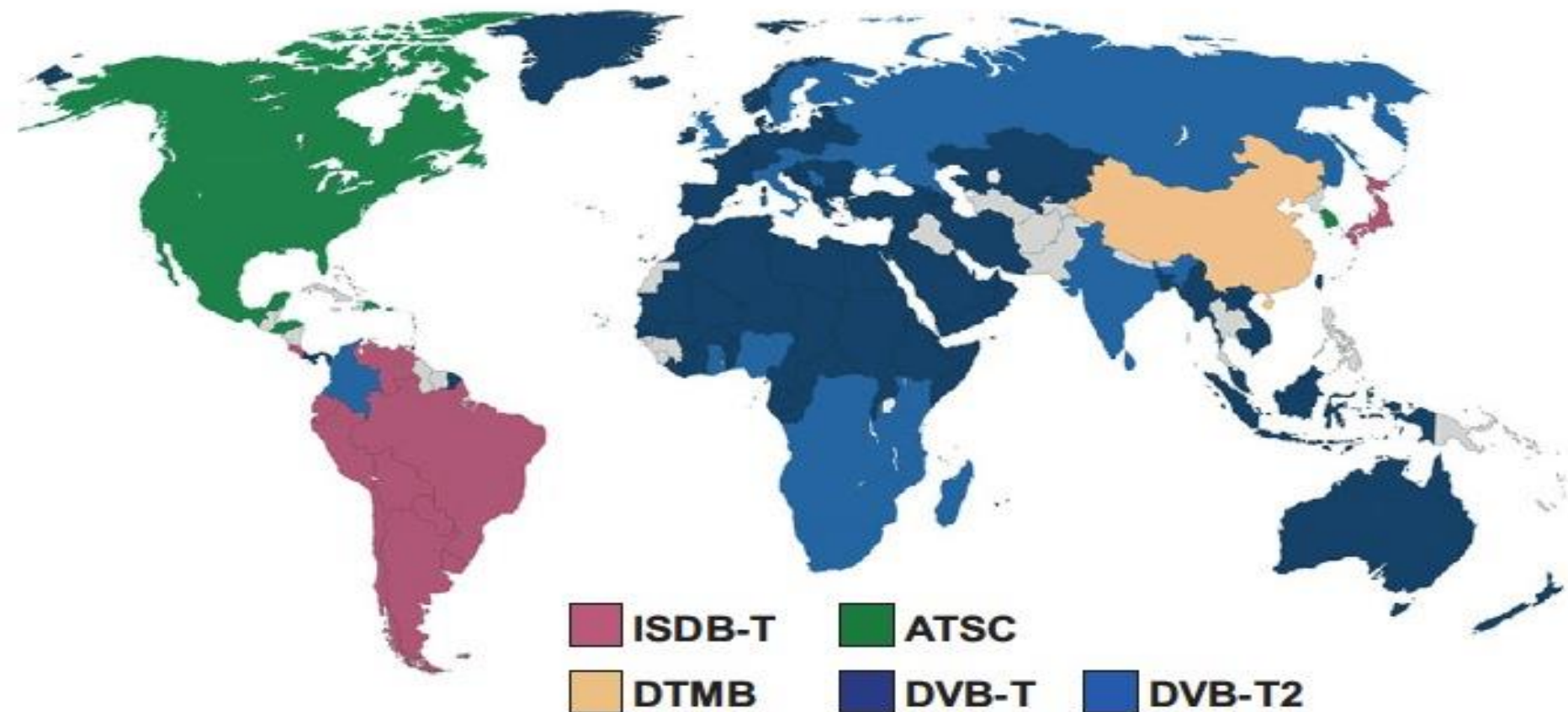
Подготовила:

студентка группы 319 Горбунова В. Б.

Руководитель:

научный сотрудник каф. ТОР Овинников А. А.

**Современные стандарты цифрового телевидения:**  
**DVB** — европейский стандарт цифрового телевидения. Сейчас действует на территории Российской Федерации.  
**ATSC** — американский стандарт цифрового телевидения.  
**ISDB** — японский стандарт цифрового телевидения.  
**DTMB** — китайский стандарт цифрового телевидения.



# Коды LDPC.

---

LDPC — код с малой плотностью проверок на четность или низкоплотностный код с проверкой на четность. Это — линейный блочный код, задаваемый с помощью порождающей матрицы и с итеративным декодированием.

LDPC — коды эффективны в системах передачи информации, требующих максимальной скорости передачи при ограниченной полосе частот. Их использование предусматривает большинство современных стандартов передачи данных.



# Порождающая (генераторная) матрица **G** стандарта **DTMB**.

$$\mathbf{G}_{ij} = \begin{bmatrix} \mathbf{G}_{0,0} & \mathbf{G}_{0,1} & \cdots & \mathbf{G}_{0,c-1} & \mathbf{I} & \mathbf{O} & \cdots & \mathbf{O} \\ \mathbf{G}_{1,0} & \mathbf{G}_{1,1} & \cdots & \mathbf{G}_{1,c-1} & \mathbf{O} & \mathbf{I} & \cdots & \mathbf{O} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{G}_{k-1,0} & \mathbf{G}_{k-1,1} & \cdots & \mathbf{G}_{k-1,c-1} & \mathbf{O} & \mathbf{O} & \cdots & \mathbf{I} \end{bmatrix}$$

$\mathbf{I}$  – единичная матрица  $b \times b$ ,  $b = 127$ ,  $0 \leq i \leq (k - 1)$ ,  $0 \leq j \leq (c - 1)$ ,  
 $i$  – общее количество строк,  $j$  – общее количество столбцов

- ▶ LDPC (7493,3048):  $k=24$ ,  $c=35$ ,  $b=127$ , скорость кодирования  $2/5$ ;
- ▶ LDPC (7493,4572):  $k=36$ ,  $c=23$ ,  $b=127$ , скорость кодирования  $3/5$ ;
- ▶ LDPC (7493,6096):  $k=48$ ,  $c=11$ ,  $b=127$ , скорость кодирования  $4/5$ .

# Часть исходной генераторной матрицы из стандарта DTMБ GB20600-2006.

---

LDPC(7493, 4572) 的  $G_{ij}=G[i][j]$

$G[0][0] : 0CF2DCC755BF90225750AFD7D60F25AA$

$G[0][1] : 2E4A7D72B90E65A7F77E6C0B5398BBCA$

$G[0][2] : 14CD045A7EC3AA4AA5CAC46A44E53DAF$

$G[0][3] : 365C33CA8E6D76D8F6D4CC2E81C91C2E$

$G[0][4] : 5BB7DF84261DAD51769E088C42800255$

$G[0][5] : 080E6F236F996BC462BA93BEC350A97F$

$G[0][6] : 4776B4D2416A404E5370578A90C248C2$

$G[0][7] : 33ADD1A94A8FD3373C17D035D9F0B3CB$

$G[0][8] : 0BB1D98B2908D3051F8F6426BAA14D02$

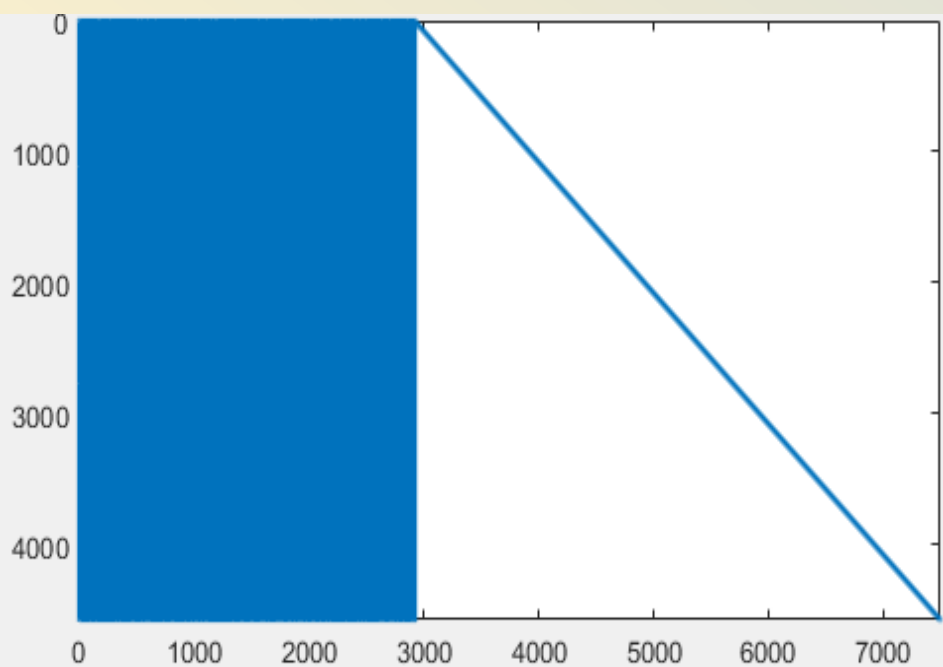
$G[0][9] : 13EBC2D1205FA4C667C856B9F47993EE$

$G[0][10] : 7F509B3D22C80AC66605E8C1CD87CEC0$

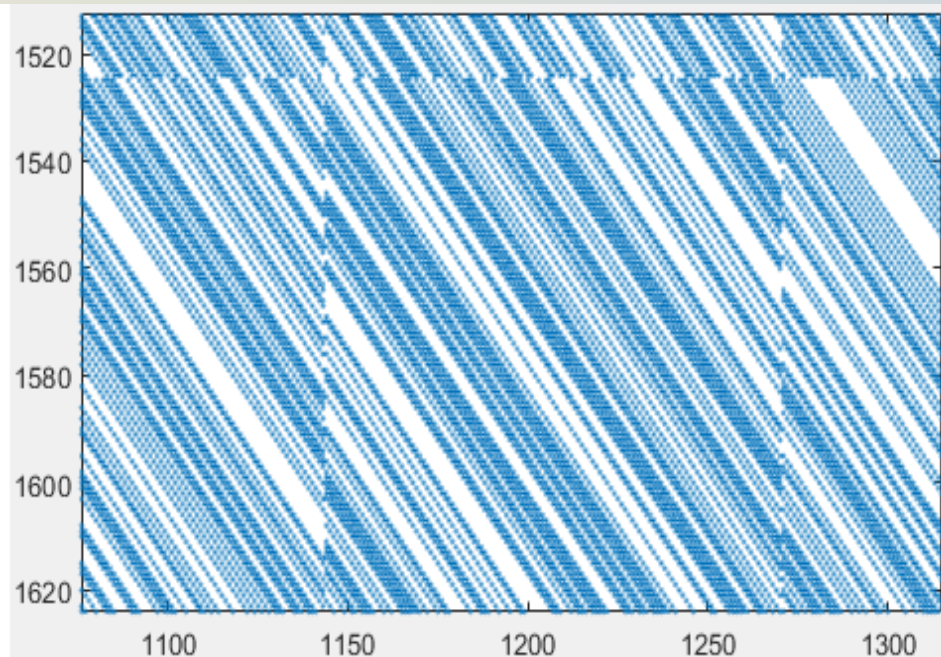
$G[0][11] : 1CA7916438C6FE2CFC646C1F222C0606$



# Графическое представление матрицы $G$ .



а)



б)

а) LDPC  $(7493, 4572)$ ; б) увеличенный масштаб для более наглядного наблюдения.



# Проверочная матрица H стандарта DTMВ.

$$H_{qc} = \begin{bmatrix} A_{0,0} & A_{0,1} & \cdots & A_{0,t-1} \\ A_{1,0} & A_{1,1} & \cdots & A_{1,t-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{c-1,0} & A_{c-1,1} & \cdots & A_{c-1,t-1} \end{bmatrix}$$

LDPC (7493,3048):  $c=35, t=58$ ;

LDPC (7493,4572):  $c=23, t=58$ ;

LDPC (7493,6096):  $c=11, t=58$ ,

где  $c$  и  $t$  – общее количество строк и столбцов в стандарте GB-20600-2006 для матрицы  $H$  соответственно.

# Исходная проверочная матрица из стандарта DTMB GB20600-2006.

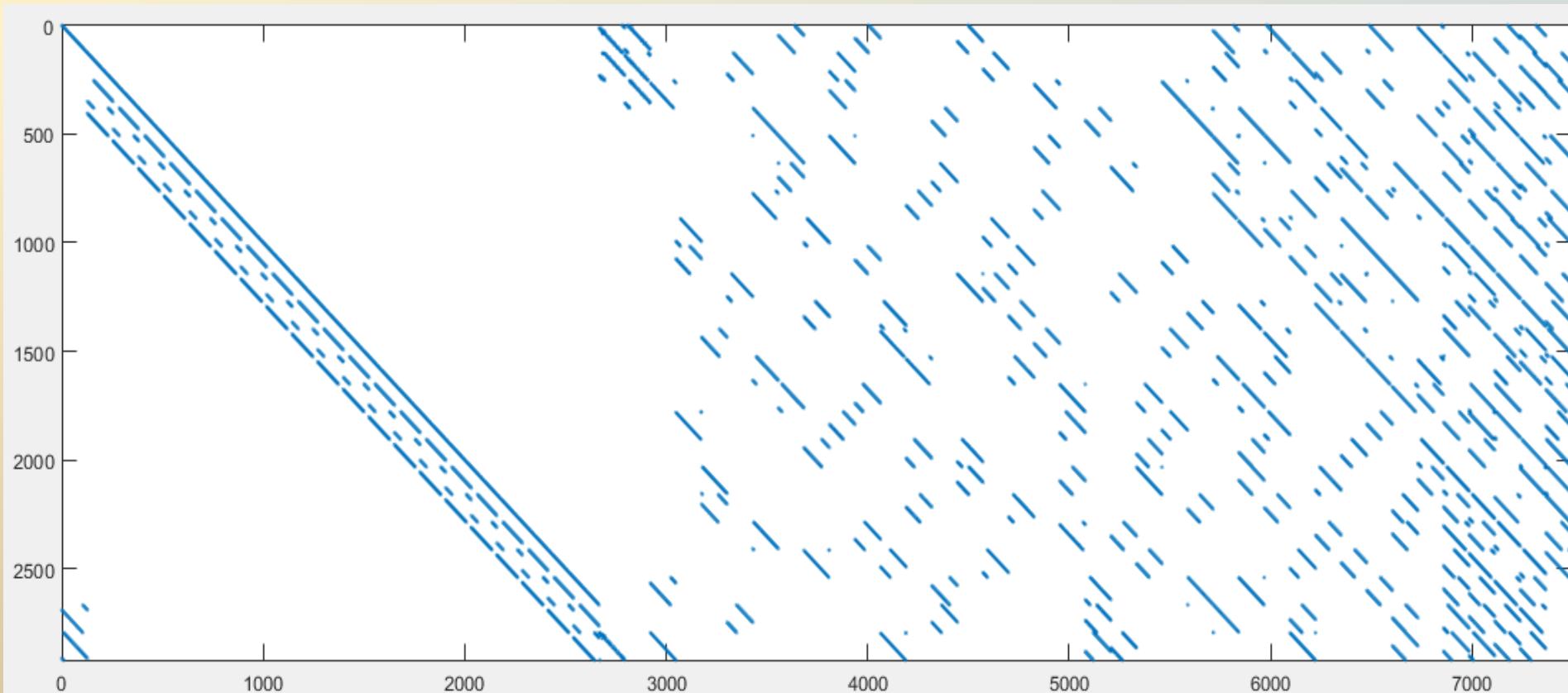
LDPC(7493, 4572)

$A[0][20] = 24$	$A[0][21] = 116$	$A[0][22] = 16$	$A[0][28] = 81$
$A[0][31] = 67$	$A[0][35] = 53$	$A[0][45] = 102$	$A[0][47] = 12$
$A[0][51] = 13$	$A[0][53] = 117$	$A[0][56] = 65$	$A[0][57] = 79$
$A[1][0] = 1$	$A[1][21] = 24$	$A[1][22] = 116$	$A[1][26] = 31$
$A[1][30] = 42$	$A[1][36] = 53$	$A[1][45] = 62$	$A[1][48] = 12$
$A[1][49] = 34$	$A[1][54] = 117$	$A[1][55] = 23$	$A[1][57] = 65$
$A[1][58] = 79$	$A[2][0] = 32$	$A[2][1] = 1$	$A[2][22] = 24$
$A[2][23] = 116$	$A[2][30] = 81$	$A[2][38] = 110$	$A[2][43] = 122$
$A[2][48] = 29$	$A[2][51] = 84$	$A[2][54] = 28$	$A[2][56] = 23$
$A[2][57] = 68$	$A[2][58] = 65$	$A[3][0] = 104$	$A[3][1] = 32$
$A[3][2] = 1$	$A[3][27] = 2$	$A[3][34] = 67$	$A[3][40] = 70$
$A[3][44] = 122$	$A[3][46] = 3$	$A[3][49] = 29$	$A[3][53] = 92$
$A[3][55] = 28$	$A[3][56] = 117$	$A[4][1] = 104$	$A[4][2] = 32$



# Графическое представление матрицы $H$ .

Например, рассмотрим матрицу  $H$  стандарта DTMV LDPC(7493,4572) со скоростью кодирования 0,4.



## Декодирование LDPC – кода.

---

Алгоритм с распространением доверия (belief propagation, BP) обладает максимальной эффективностью среди всех известных алгоритмов декодирования. Этот алгоритм работает с мягкими решениями демодулятора. Доказано, что алгоритм BP достигает максимума правдоподобия, при условии, что проверочная матрица кода не содержит циклов. Расплата за столь высокую эффективность — максимальная вычислительная сложность.



# Общий сценарий для декодирования LDPC-кода

---

```
ind=find(H==1);           %найти элементы матрицы H, равные “1”
[r,c]=ind2sub(size(H),ind); % r – номер строки; c – номер столбца
[rows,cols] = size(H);
h=sparse(H);              % для использования LDPC-кода на базе Matlab
n=cols;                   % количество столбцов
k=n-rows;                 % количество строк
randn('seed',843);        %присваивание начального значения ГСЧ

dB=[0:0.25:1.95];         % диапазон значений ОСШ в дБ
SNRpbit=10.^(dB/10);       % Eb/No преобразование из дБ в десятичное число
No_uncoded=1./SNRpbit;     % т. к. Eb=1
R=k/n;                    % кодовая скорость
No=No_uncoded./R;

max_iter=50;              %максимальное число итераций декодера
maximum_blockerror=100;   %максимальное число исправления ошибок
```

# Общий сценарий для декодирования LDPC-кода

%u - кодовое слово для передачи сообщения

%u=zeros(1,cols); %%нулевая матрица u

1. x = (sign(randn(1,k))+1)/2; % случайные биты

2. u = mod(x\*G,2); % кодирование

3. tx\_waveform=bpsk(u);

4. sigma=sqrt(No(z)/2);

5. rx\_waveform=tx\_waveform + sigma\*randn(1,length(tx\_waveform));  
%накладывание шума

%%% Декодер LDPC, основанный на C%%%

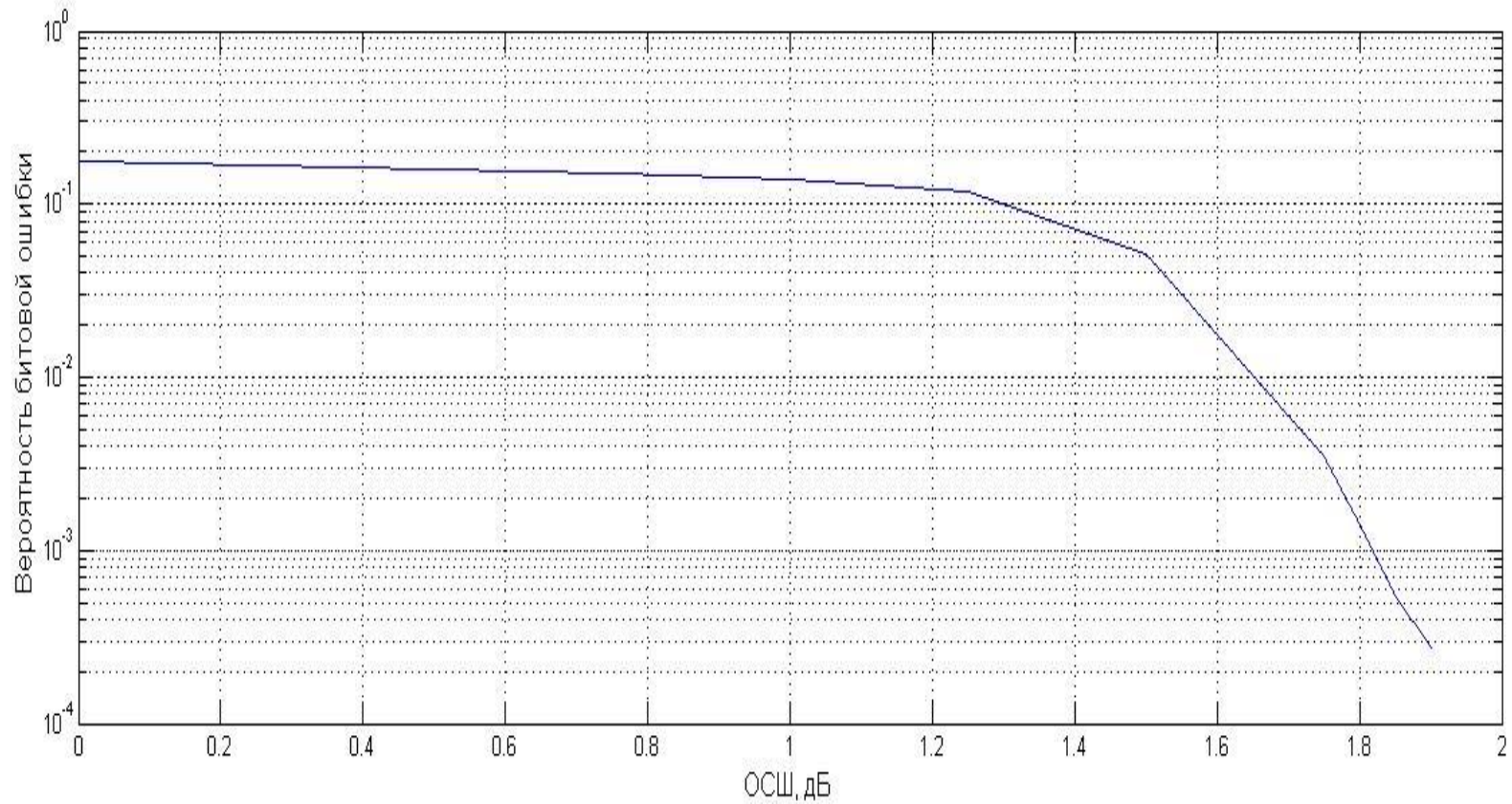
6. gamma\_n=(4/No(z))\*rx\_waveform;

7. vhat=decode\_ldpc\_new(max\_iter,gamma\_n,check\_node\_ones,max\_check\_degree,BIGVALUE\_COLS-1,variable\_node\_ones,max\_variable\_degree,BIGVALUE\_ROWS-1,rows,cols);

8. uhat=vhat;

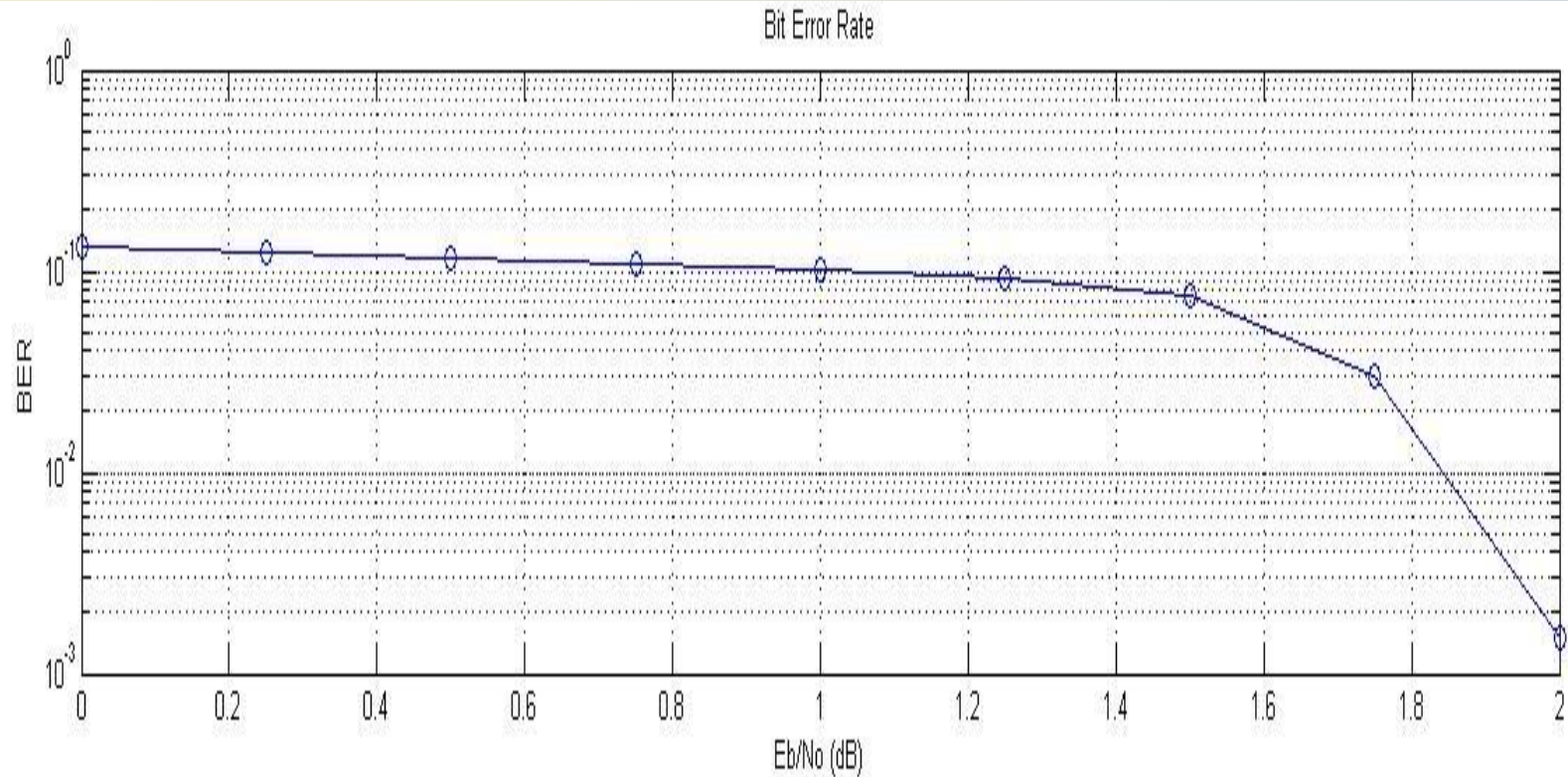


# Результаты проведенных исследований для LDPC – кода со скоростью кодирования 0,4.



ОСШ	0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	1,8	1,9
BER	0,1777	0,1684	0,1595	0,1488	0,1378	0,1167	0,052	3,52e-3	1,4e-3	2,7e-4

# Результаты проведенных исследований для LDPC – кода со скоростью кодирования 0,6.



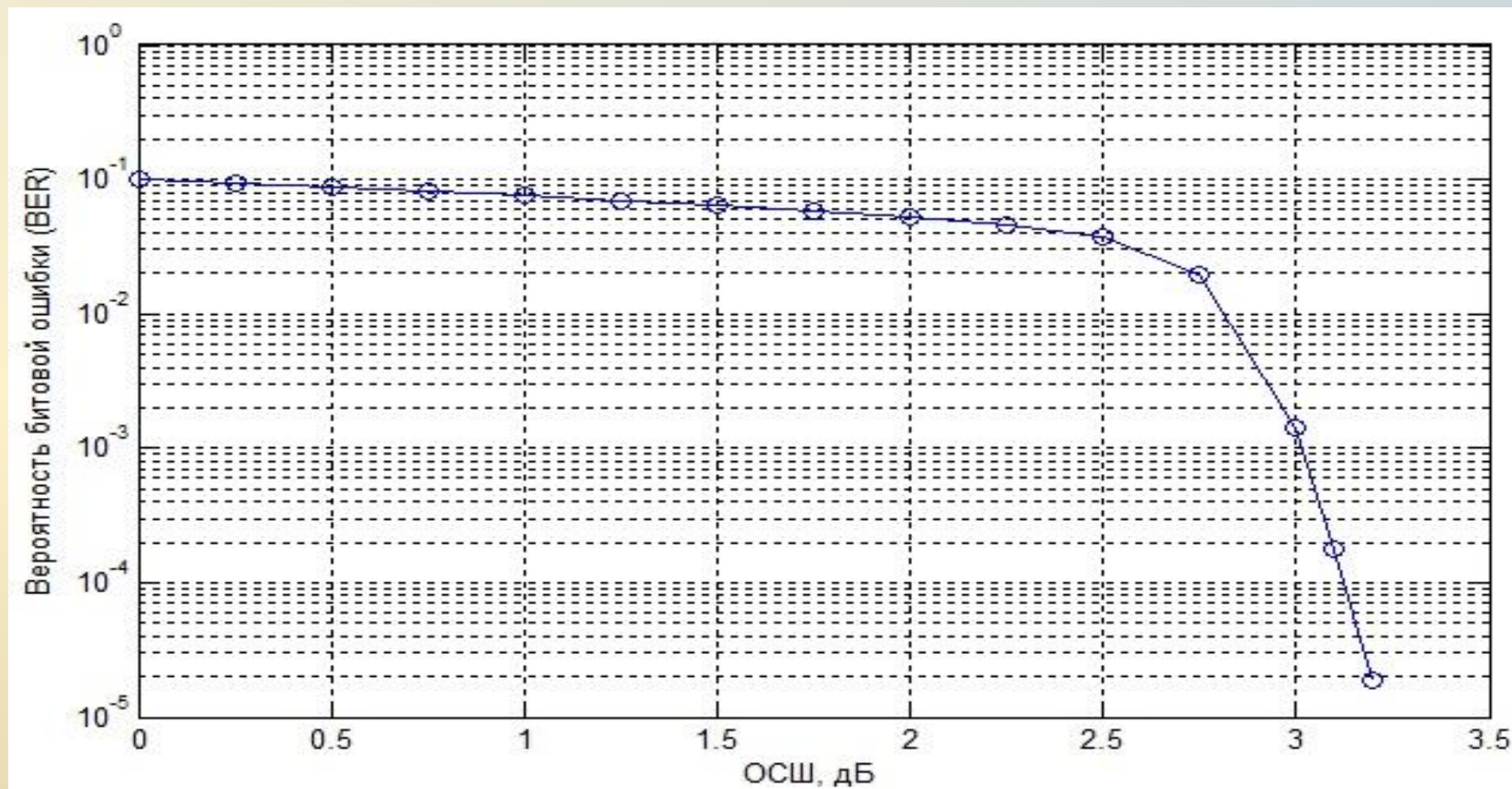
BER – вероятность битовой ошибки

$E_b/N_0$  – отношение сигнал/шум, дБ

$E_b/N_0$	0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2
BER	0,1329	0,125	0,1176	0,1092	0,102	0,092	0,076	0,03	0,0015



# Результаты проведенных исследований для LDPC – кода со скоростью кодирования 0,8.



BER – вероятность битовой ошибки

$E_b/N_0$  – отношение сигнал/шум, дБ

ОСШ	0	0,25	0,5	1	1,25	1,75	2	2,25	2,5	2,75	3	3,1	3,2
BER	0,1	0,09	0,088	0,076	0,07	0,06	0,05	0,045	0,037	0,02	0,001	$1,8e^{-4}$	$1,9e^{-5}$



Продолжение следует...

Благодарю за внимание!