

**Державний комітет зв'язку та інформатизації України**

**Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова**

---

**Кафедра теорії електричного зв'язку**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**ДО ВИВЧЕННЯ ПЕРШОЇ ЧАСТИНИ КУРСУ**

**“ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ”**

**ТА ЗАВДАННЯ НА КОНТРОЛЬНУ РОБОТУ**

**для студентів заочного факультету**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**  
методичною радою  
академії зв'язку.  
Протокол № 15  
від 09.04.2002 р.

Одеса 2002

Рецензент – О. Є. Пляцек

Укладачі – П. В. Іващенко, М. Ф. Іванов

Відп. редактор – В. Л. Банкет

Редактор – Л. А. Кодрул

**СХВАЛЕНО**

на засіданні кафедри ТЕЗ  
і рекомендовано до друку.

Протокол № 9

від 10 січня 2002 р.

## Загальні вказівки до вивчення першої частини курсу ТЕЗ

Курс “Теорія електричного зв’язку” відноситься до числа фундаментальних дисциплін підготовки бакалаврів за напрямом “Телекомунікації”. Під час вивчення курсу студенти оволодівають сучасними методами аналізу і синтезу систем та пристроїв електрозв’язку різного призначення. У курсі застосовано єдиний підхід до вивчення перетворень повідомлень і сигналів у системах зв’язку. Курс базується на знаннях, отриманих студентами при вивченні вищої математики і теорії електричних кіл. Курс ТЕЗ поділений на дві частини і вивчається протягом двох семестрів.

На лекціях (10 год. у період установчої сесії і 8 год. у період екзаменаційної сесії) студенти вивчають основні теоретичні положення першої частини курсу.

У міжсесійний період студенти самостійно детально проробляють першу частину курсу за підручниками [1, 2] і навчальному посібнику [3]. При цьому студенти складають конспект відповідно до наведеного нижче переліку тем (табл. 1) та виконують контрольну роботу (завдання наведено нижче), яку надсилають на адресу деканату або здають її особисто в деканат до початку сесії на рецензування.

Під час екзаменаційної сесії студенти виконують три лабораторні роботи з метою вивчення й експериментального дослідження методів формування і перетворення сигналів у системах електрозв’язку, захищають допущену до захисту контрольну роботу. З теоретичної частини курсу проводиться іспит. На іспиті студент подає конспект самостійної роботи над курсом, зараховані контрольну роботу і протоколи лабораторних робіт.

### Список літератури

1 *Теория передачи сигналов*: Учебник для вузов / А. Г. Зюко и др. – М.: Радио и связь, 1986.

2 *Панфілов І. П., Дирда В. Ю., Капацін А. В.* Теорія електричного зв’язку: Підручник для вищих навчальних закладів І та ІІ рівнів акредитації за напрямом “Телекомунікації”. – К.: Техніка, 1998.

3 *Методы формирования и преобразования сигналов в системах электросвязи*: Методическое руководство / Сост. Ю. Ф. Коробов. – Одесса: ОЭИС, 1990.

## Програма першої частини курсу ТЕЗ

**Таблиця 1** – Перелік розділів і тем

Розділ, тема	Література		
	[1]	[2]	[3]
1	2	3	4
<b>1 Загальні відомості про системи електрозв'язку</b>			
1.1 Інформація, повідомлення, сигнал. Класифікація систем електрозв'язку за призначенням, способом дії та технічною реалізацією. Узагальнені структурні схеми систем електрозв'язку	1.1, 1.2	1.1	
1.2 Повідомлення, їх джерела та одержувачі	1.1, 1.2	1.1	
1.3 Формування та перетворення первинних сигналів. Кодування та декодування. Кодеки. Основні характеристики первинних сигналів	1.1...1.5	1.2, 2.8	
1.4 Вторинні сигнали. Модуляція та демодуляція. Модеми	1.4, 1.5	1.1	
1.5 Діапазони частот електромагнітних коливань, що використовуються в електрозв'язку. Основні характеристики ліній зв'язку. Проблема електромагнітної сумісності	1.2	1.1, 20.1...20.3	
1.5 Канали зв'язку. Багатоканальні системи передавання	1.2	1.1	
1.6 Завади та спотворення сигналів у каналах зв'язку. Класифікація завад і спотворень сигналів	1.3	1.3	
1.7 Поняття про мережі зв'язку та розподіл інформації	9.1		
1.8 Основні характеристики систем електрозв'язку	1.7	1.4	
<b>2 Математичний опис сигналів і завад</b>			
2.1 Класифікація сигналів. Детерміновані та випадкові сигнали		2.1	
2.2 Енергетичні та кореляційні характеристики сигналів		2.7	
2.3 Подання сигналів в ортогональних базисах. Приклади ортогональних базисів (тригонометричний, експонентний, функції відліків, Уолша та ін.). Геометричне подання сигналів, простір сигналів. Векторні та функціональні метричні простори сигналів. База сигналу	2.5, 2.6	2.1	
2.4 Ряд і перетворення Фур'є. Амплітудний, фазовий, комплексний та енергетичний спектри детермінованих сигналів. Спектральні та кореляційні властивості типових періодичних та неперіодичних сигналів		2.2, 2.3	
2.5 Випадкові процеси. Класифікація, основні характеристики та методи математичного опису. Стаціонарні та ергодичні процеси. Функції розподілу ймовірностей та числові характеристики	2.1	2.5, 2.6	
2.6 Функція кореляції випадкового процесу та її властивості. Спектральна густина потужності та її зв'язок з функцією кореляції. Інтервал кореляції та ширина спектра	2.1, 2.2	2.5	

1	2	3	4
2.7 Гауссів шум, пуассонівський та марковські процеси	2.1	2.6	
2.8 Статистичні характеристики джерел дискретних та неперервних повідомлень. Моделі джерел дискретних повідомлень. Телефонне мовне повідомлення та його математична модель. Моделі джерел радіомовного, телевізійного, факсимільного сигналів, сигналів передавання даних тощо. Моделі джерел флуктуаційних, імпульсних та зосереджених завад	2.2	2.8	
2.9 Дискретизація первинних сигналів електрозв'язку. Спектральний аналіз дискретних сигналів. Теорема й ряд В. О. Котельникова. Передавання неперервних сигналів відліками. Перетворення неперервних сигналів у цифрові: дискретизація, квантування та кодування відліків. Похибка квантування. Відновлення неперервних сигналів. Структурні схеми аналого-цифрового (АЦП) та цифроаналогового (ЦАП) перетворювачів	2.7, 8.1	2.4, 17.1	
2.10 Комплексне та квазігармонічне подання смугових сигналів. Обвідна та фаза смугового сигналу. Смуговий гауссів шум. Розподіли ймовірностей обвідної та фази смугового випадкового процесу. Дискретизація смугових сигналів	2.3, 2.4		
<b>3 Модульовані сигнали</b>			
3.1 Амплітудна модуляція (АМ) гармонічного переносника. Часове подання та спектр АМ сигналу. Модуляція гармонічним та складним сигналами. Балансна (БМ) та односмугова (ОМ) модуляції. Ширина спектра АМ, БМ і ОМ сигналів. Принципи формування АМ, БМ та ОМ сигналів. Синхронне детектування. Детектор обвідної		3.2, 3.3, 6.5, 15.2, 15.3	2...4
3.2 Кутова модуляція гармонічного переносника. Сигнали частотної (ЧМ) та фазової (ФМ) модуляції. Часове подання та спектри сигналів кутових модуляцій. Ширина спектрів. Широкоsmугова модуляція, відмінність спектрів ЧМ і ФМ сигналів. Принципи формування та детектування сигналів кутових модуляцій		3.4, 6.6, 15.4, 15.5	5...7
3.3 Методи цифрової модуляції гармонічного переносника. Проблема мінімальної смуги частот. Міжсимвольна інтерференція. Імпульси Найквіста. Межа Найквіста. Амплітудна (АМ-М), частотна (ЧМ-М), фазова (ФМ-М) та амплітудно-фазова (АФМ-М) модуляції. Часові подання та спектри, формування сигналів		3.5, 6.9	12...15
3.4 Методи модуляції імпульсного переносника. Аналітичні подання, часові діаграми та спектри сигналів імпульсних видів модуляції		3.6, 6.8, 15.6	8...10
3.5 Шумоподібні сигнали (ШПС). Спектральні та кореляційні властивості ШПС. Модуляція шумоподібного переносника	9.3, 9.4		

1	2	3	4
<b>4 Канали електрозв'язку</b>			
4.1 Класифікація та загальні характеристики каналів електрозв'язку. Ідеальні канали без завад і помилок	3.1	13.1	
4.2 Математичні моделі цифрових каналів. Помилки в цифрових каналах. Двійковий та багатопозиційні симетричні канали без пам'яті. Канали з пам'яттю	3.4	13.2	
4.3 Математичні моделі неперервних каналів. Канал з адитивним гауссовим шумом. Канал з невизначеною фазою. Однопроменевий гауссовий канал із загальним завмиранням	3.4	13.2	
4.4 Математичні моделі дискретних каналів. Канал із міжсимвольною інтерференцією й адитивним шумом	3.4	13.2	
4.5 Особливості оптичних каналів	3.3		
4.6 Перетворення детермінованих сигналів у типових лінійних та нелінійних ланках каналів зв'язку: методи розрахунку характеристик сигналів на виході лінійних та нелінійних кіл	3.2		
4.7 Перетворення випадкових сигналів у типових лінійних та нелінійних ланках каналів зв'язку: методи розрахунків статистичних характеристик випадкових сигналів на виході лінійних та нелінійних кіл. Проходження сигналу та шуму через синхронний, частотний та фазовий детектори і детектор обвідної	3.2		
<b>5 Теорія передавання інформації каналами зв'язку</b>			
5.1 Кількісна міра інформації	4.1	18.1	
5.2 Інформаційні характеристики джерел дискретних незалежних та залежних повідомлень: ентропія та її властивості, надмірність, продуктивність	4.1	18.1	
5.3 Теорема Шеннона для каналу без завад. Методи ефективного кодування джерел дискретних повідомлень, коди Шеннона-Фано та Хафмана	4.3		
5.4 Передавання повідомлень каналами з шумами. Взаємна інформація та її властивості. Швидкість передавання інформації і пропускна здатність каналу. Приклади розрахунків пропускної здатності дискретних каналів	4.2, 4.5	18.2	
5.5 Інформаційні характеристики джерел неперервних повідомлень: диференціальна ентропія, епсилон-ентропія, продуктивність, надмірність	4.4, 4.7	18.1	
5.6 Швидкість передавання та пропускна здатність неперервного каналу з шумами. Формула Шеннона для пропускної здатності неперервного каналу з шумами	4.5	18.2	
5.7 Теорема Шеннона для каналу з завадами. Інформаційна, енергетична та частотна ефективності систем електрозв'язку. Гранична ефективність та межа Шеннона	4.6	18.2, 18.3	

## Завдання на контрольну роботу

### Задача 1

Зобразити структурну схему системи електрозв'язку для передавання повідомлення заданого виду (табл. 2). З використанням часових діаграм описати перетворення повідомлень і сигналів в усіх блоках схеми. Пояснити, як визначається кількість інформації, що передається, і якість передавання повідомлення заданого виду.

**Таблиця 2** – Вид повідомлення

Остання цифра номера студ. квитка	0; 6	1; 9	2	3	4; 7	5; 8
Вид повідомлення	Мовне	Звукове мовлення	Телевізійне мовлення	Факсимільне	Телеграфне	Дані

**Вказівки.** Див. [1, с. 7...26; 2, с.8...21, 50...52]. Для виконання цієї задачі може бути використана будь-яка інша література, де розглядається передавання повідомлень заданого виду. Важливо дати пояснення, що являють собою повідомлення, а також первинний і вторинний (якщо він використовується) сигнали. Методи визначення кількості інформації, що передається, і якості передавання повідомлень описані в розд. 1.7 [1] і розд 1.4 [2].

### Задача 2

Неперервний сигнал  $b(t)$  модулює гармонічне коливання (несівну)  $A_0 \cos 2\pi f_0 t$ . Необхідно:

- побудувати спектр модулюючого і модульованого сигналів;
- розрахувати ширину спектра модульованого сигналу;
- навести та описати схеми, що здійснюють формування і детектування модульованого сигналу заданого виду.

Номер варіанта визначається двома останніми цифрами номера студентського квитка.

У варіантах 0...39 задача виконується для трьох видів модуляції: амплітудної (АМ) з коефіцієнтом модуляції  $m_{AM}$ , балансної (БМ) і односмугової (ОМ). Модулюючим сигналом  $b(t)$  є неперервний сигнал зі спектральною густиною, рівномірно розподіленою в смузі частот від  $F_{min}$  до  $F_{max}$ .

У варіантах 40...69 модулюючим сигналом  $b(t)$  є гармонічне коливання  $\cos 2\pi F t$ , модуляція частотна (ЧМ) з девіацією частоти  $\Delta f_d$ .

У варіантах 70...99 модулюючим сигналом  $b(t)$  є гармонічне коливання  $\cos 2\pi F t$ , модуляція фазова (ФМ) із девіацією фази  $\Delta \varphi_d$ .

Числові дані до задачі 2 наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Числові дані до задачі 2

Остання цифра номера студ. квитка	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$A_0, В$	1	0,1	1,2	0,2	0,6	0,3	0,7	0,4	0,8	0,5
$f_0, кГц$	80	90	60	50	80	70	45	90	40	100
$F_{min}, кГц$	0,1	0,08	0,06	0,1	0,05	0,1	0,07	0,06	0,1	0,05
$F_{max}, кГц$	5	6,5	5,5	4	7,5	4,5	6	3,5	3	7
$\Delta f_d, кГц$	10	16	17	14	30	20	20	8	9	28
$\Delta \Phi_d, рад$	4	2	2,5	3	3,5	4	4,5	6	8	3
$F, кГц$	0,4	0,3	1	0,4	0,5	0,9	0,5	0,6	0,8	0,4

**Вказівки.** Див. [2, с. 53...66, 108...117, 224...239; 3. с. 9...38].

При виконанні варіантів 00...39 (види модуляції АМ, БМ і ОМ) спектри модулюючого і модульованого сигналів будуються без визначення абсолютних значень рівнів спектральних складових, важливо визначити граничні частоти смуг модулюючого сигналу і бічних смуг модульованого сигналу.

При виконанні варіантів 40...99 розраховуються частоти складових і їх рівні та будується відповідний графік. Приклад такого розрахунку наведено в [2, с. 65, 66].

Слід розрахувати ширину спектра модульованого сигналу та показати її на графіку спектра сигналу.

Описуючи наведені схеми, що здійснюють формування і детектування модульованих сигналів, (це можуть бути аналогові чи цифрові схеми) необхідно дати алгоритми, на основі яких працюють схеми.

### Задача 3

Навести структурні схеми аналого-цифрового (АЦП) і цифро-аналогового (ЦАП) перетворювачів, дати опис процесів в схемах, зобразити часові діаграми сигналів, що пояснюють роботу АЦП і ЦАП для довільної форми неперервного сигналу. У табл. 4 задані вихідні числові дані: максимальна частота спектра  $F_{max}$ , коефіцієнт амплітуди  $K_A$  первинного сигналу і відношення сигнал/шум квантування  $\rho_{кв}$ . Розрахувати інтервал і частоту дискретизації, число рівнів квантування, довжину коду АЦП, тривалість двійкового символу та швидкість цифрового сигналу.

Таблиця 4 – Числові дані до задачі 3

Передостання цифра номера студ. квитка	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$F_{max}, кГц$	12	22	16	2,8	3,4	5,5	6	8,2	18	10
$K_A$	4,5	3,5	5,5	7	8	5	3	4	8	6
$\rho_{кв}, дБ$	39	42	38	42	34	45	49	40	34	43



**Вказівки.** Див. [1, с. 23, 64...69, 242...248; 2, с.34...39, 262...269].

Інтервал дискретизації  $T_d$  і частота дискретизації  $f_d$  є взаємно обернені величини:  $T_d = 1/f_d$  і визначаються на основі теореми Котельникова:  $f_d \geq 2F_{\max}$ .

Число рівнів квантування  $L$  визначають за умови, щоб задовольнити задане відношення сигнал/шум квантування  $\rho_{\text{кв}}$ . Для цього слід скористатись формулами (8.11) [1] або (17.15) [2]. У [1] коефіцієнт амплітуди позначений як  $\Pi$ . До проведення розрахунків задане відношення сигнал/шум квантування необхідно подати в разях:  $\rho = 10^{0,1\rho[\text{дБ}]}$ .

Довжина коду АЦП  $n$  визначається як найменше ціле, що відповідає умові  $n \geq \log_2 L$ . Тривалість двійкового символу на виході АЦП  $T_6 = T_d/n$ . Швидкість цифрового сигналу  $R = 1/T_6$ .

#### Задача 4

Білий гауссів (нормальний) шум  $N(t)$  з односторонньою спектральною густиною потужності  $N_0$  подається до входу фільтра нижніх частот (ФНЧ) із заданою АЧХ  $H(f)$ ,  $0 \leq f < \infty$ .

Необхідно:

1 Знайти вираз для спектральної густини потужності шуму  $X(t)$  на виході ФНЧ  $G_X(f)$  і побудувати графік цієї функції.

2 Визначити середню потужність шуму  $X(t)$ .

3 Визначити ефективну ширину спектра  $\Delta f_{\text{еф}}$  шуму  $X(t)$  і показати її на графіку функції  $G_X(f)$ .

4 Знайти вираз для кореляційної функції шуму  $X(t)$  на виході ФНЧ  $K_X(\tau)$  і побудувати графік цієї функції.

5 Визначити інтервал кореляції  $\tau_k$  шуму  $X(t)$  і показати його на графіку функції  $K_X(\tau)$ .

6 Обчислити добуток  $\Delta f_{\text{еф}} \tau_k$ .

7 Визначити ймовірність того, що шум  $X(t)$  у довільний момент часу матиме значення у заданому інтервалі  $(x_1, x_2)$ .

Номер варіанта визначається двома останніми цифрами номера студентського квитка. Задані наступні типи ФНЧ:

$$\text{- для варіантів } 00\dots29 \text{ ідеальний ФНЧ з АЧХ } H(f) = \begin{cases} 1, & 0 \leq f \leq F_{\text{зр}}, \\ 0, & f > F_{\text{зр}}, \end{cases}$$

де  $F_{\text{зр}}$  – частота зрізу ФНЧ;

$$\text{- для варіантів } 30\dots69 \text{ RC-фільтр з АЧХ } H(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi f \tau_{\text{ф}})^2}},$$

де  $\tau_{\text{ф}}$  – постійна часу ФНЧ;

$$\text{- для варіантів } 70\dots99 \text{ гауссів фільтр з АЧХ } H(f) = \exp(-a^2 f^2),$$

де  $a$  – коефіцієнт, що визначає швидкість спаду АЧХ ФНЧ.

Числові значення до задачі 4 наведені в табл. 5.

Таблиця 5 – Числові значення до задачі 4

Остання цифра номера студ. квитка	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$N_0, 10^{-6} \text{ В}^2/\text{Гц}$	0,1	5	2	1	40	10	200	100	5000	1000
$F_{зр}, 10^5 \text{ Гц}$	100	4	20	40	1	6	0,3	0,8	0,02	0,1
$\tau_{\phi}, 10^{-6} \text{ с}$	0,04	0,6	0,2	0,06	2	0,4	7	3	100	20
$a, 10^{-7} \text{ с}$	0,5	15	3	1,5	60	10	200	75	3000	600
$x_1, \text{ В}$	$-\infty$	-0,5	0	0	1	2	$-\infty$	2	4	0
$x_2, \text{ В}$	1	0,5	$\infty$	3	3	$\infty$	0	4	$\infty$	4

**Вказівки.** Див. [1, с. 27...45; 2, с. 40...49]. Рекомендується наступна послідовність виконання задачі 4.

1 Спектральна густина потужності шуму  $X(t)$  на виході ФНЧ визначається співвідношенням

$$G_X(f) = G_N(f)H^2(f) = N_0H^2(f),$$

графік функції  $G_X(f)$  слід будувати для діапазону значень частоти від 0 до значення, за якого  $G_X(f) \ll G_X(0)$ .

2 Середня потужність шуму  $X(t)$  визначається інтегралом

$$P_X = \int_0^{\infty} G_X(f) df.$$

3 Ефективна ширину спектра  $\Delta f_{\text{еф}}$  шуму  $X(t)$  визначається

$$\Delta f_{\text{еф}} = \frac{1}{G_X(0)} \int_0^{\infty} G_X(f) df \quad \text{або} \quad \Delta f_{\text{еф}} = \frac{P_X}{G_X(0)},$$

значення  $\Delta f_{\text{еф}}$  слід показати на графіку функції  $G_X(f)$ .

4 Кореляційна функція шуму  $X(t)$  визначається

$$K_X(\tau) = \int_0^{\infty} G_X(f) \cos 2\pi f \tau df,$$

графік функції  $K_X(\tau)$  необхідно побудувати для діапазону значень  $\tau$  від 0 до значення, за якого  $|K_X(\tau)| \ll K_X(0)$ . Корисно перевірити виконання основних властивостей кореляційних функцій:

- $K_X(\tau)$  – парна функція;
- $K_X(0) = P_X$ ;
- $K_X(0) \geq K_X(\tau)$ .

5 Інтервал кореляції  $\tau_k$  шуму  $X(t)$  можна визначити одним з наступних методів:

- як значення  $\tau$ , за якого функція  $K_X(\tau)$  перший раз приймає значення нуль (це зручно у разі ідеального ФНЧ);
- як значення  $\tau$ , за якого функція  $K_X(\tau) = 0,1K_X(0)$ ;
- за допомогою обчислення інтегралу

$$\tau_k = \frac{1}{K_X(0)} \int_0^{\infty} |K_X(\tau)| d\tau;$$

значення  $\tau_k$  необхідно показати на графіку функції  $K_X(\tau)$ ;

6 Обчислити добуток  $\Delta f_{\text{эф}} \tau_k$ , який повинен мати значення порядку 0,5.

7 Для визначення ймовірності того, що шум  $X(t)$  у довільний момент часу матиме значення у заданому інтервалі  $(x_1, x_2)$ , необхідно використати співвідношення  $P\{x_1 < X(t) \leq x_2\} = F(x_2) - F(x_1)$ , де  $F(x)$  – функція розподілу ймовірностей шуму  $X(t)$ . Якщо на вході лінійного електричного кола діє гауссів процес, то вихідний процес теж має гауссів розподіл ймовірностей. Для гауссових процесів функція розподілу ймовірностей записується у різних підручниках та посібниках одним з наступних виразів:

$$F(x) = \frac{1}{2} \left[ 1 + \Phi \left( \frac{x - \overline{X(t)}}{\sigma_X} \right) \right]; \quad F(x) = 0,5 + \Phi_0 \left( \frac{x - \overline{X(t)}}{\sigma_X} \right); \quad F(x) = 1 - V \left( \frac{x - \overline{X(t)}}{\sigma_X} \right),$$

$$\text{де } \Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt; \quad \Phi_0(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt; \quad V(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_z^{\infty} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$$

– форми запису інтегралів ймовірностей;

$\overline{X(t)}$  – середнє значення шуму  $X(t)$  (у нашій задачі  $\overline{X(t)} = 0$ );

$\sigma_X$  – середнє квадратичне відхилення шуму  $X(t)$ , воно визначається

$$\sigma_X = \sqrt{D[X(t)]};$$

$D[X(t)]$  – дисперсія шуму  $X(t)$ , оскільки  $\overline{X(t)} = 0$ , то  $D[X(t)] = P_X$ .

При відсутності таблиць інтегралів ймовірностей значення інтегралів можуть бути визначені за наближеними формулами:

$$\Phi(z) \cong 1 - 1,3 \exp[-0,44(z + 0,75)^2] \quad \text{при } z > 0;$$

$$\Phi(z) = -\Phi(|z|) \quad \text{при } z < 0, \quad \Phi(0) = 0, \quad \Phi(\infty) = 1;$$

$$\Phi_0(z) \cong 0,5 - 0,65 \exp[-0,44(z + 0,75)^2] \quad \text{при } z > 0;$$

$$\Phi_0(z) = -\Phi_0(|z|) \quad \text{при } z < 0, \quad \Phi_0(0) = 0, \quad \Phi_0(\infty) = 0,5;$$

$$V(z) \cong 0,65 \exp[-0,44(z + 0,75)^2] \quad \text{при } z > 0;$$

$$V(z) = 1 - V(|z|) \quad \text{при } z < 0, \quad V(0) = 0,5, \quad V(\infty) = 0.$$

Під час визначення  $P_X$ ,  $K_X(\tau)$  і  $\tau_k$  можна використати наступні співвідношення:

$$\int_0^{F_{\text{зр}}} \cos 2\pi f \tau df = F_{\text{зр}} \frac{\sin 2\pi F_{\text{зр}} \tau}{2\pi F_{\text{зр}} \tau};$$

$$\int_0^{\infty} e^{-a^2 x^2} \cos b x dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2a} e^{-b^2/4a^2} \quad \text{при } a > 0;$$

$$\int_0^{\infty} \frac{\cos ax}{1+x^2} dx = \frac{\pi}{2} e^{-|a|};$$

$$\int e^{ax} dx = \frac{1}{a} e^{ax}.$$

### Задача 5

Джерело дискретних повідомлень видає повідомлення, використовуючи знаки  $a_1, a_2, \dots, a_{M_a}$ ,  $M_a$  – обсяг алфавіту джерела. Знаки статистично незалежні, мають ймовірності  $P(a_i)$ , а їх тривалості однакові і дорівнюють  $T_{zn}$ . Розрахувати інформаційні характеристики джерела: ентропію, коефіцієнт надлишковості і продуктивність. Числові дані до задачі 5 наведені в табл. 6 і 7. При використанні табл. 7 слід вибрати значення  $P(a_i)$  для  $i = 1, 2, \dots, (M_a - 1)$ ; значення  $P(a_{M_a})$  визначається за умови, що знаки складають повну групу подій.

Таблиця 6 – Числові дані до задачі 5

Передостання цифра номера студ. квитка	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$M_a$	2	3	4	5	2	3	4	5	2	3
$T_{zn}$ , мс	10	6	1	1,5	3	6	2	6	20	15

Таблиця 7 – Числові дані до задачі 5

Остання цифра номера студ. квитка	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P(a_1)$	0,1	0,2	0,7	0,2	0,25	0,1	0,4	0,3	0,05	0,1
$P(a_2)$	0,3	0,4	0,05	0,2	0,15	0,1	0,04	0,1	0,15	0,2
$P(a_3)$	0,4	0,04	0,05	0,2	0,1	0,1	0,04	0,05	0,1	0,3
$P(a_4)$	0,04	0,04	0,1	0,2	0,2	0,1	0,02	0,05	0,5	0,4

**Вказівки.** Див. [1, с. 101...106; 2, с. 276...280]. Рекомендується наступна послідовність виконання задачі 5:

- розрахувати  $P(a_{M_a}) = 1 - \sum_{i=1}^{M_a-1} P(a_i)$ ;
- розрахувати ентропію джерела  $H(A)$ , під час розрахунків значень логарифмів за основою 2 можна скористатись співвідношеннями  $\log_2 x = \frac{\ln x}{\ln 2} = \frac{\lg x}{\lg 2}$ ;
- розрахувати максимальну ентропію джерела  $H_{\max}(A)$ ;
- розрахувати коефіцієнт надлишковості джерела  $\chi$ ;
- розрахувати продуктивність джерела  $R_d$ .