

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ДЕРЖАВНИЙ ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ**  
**УНІВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТУ**

Кафедра телекомунікаційних технологій та автоматики

**О.А. Герцій, С.В. Наконечна, О.В. Шевченко**

**ТЕХНІЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ**  
**СИСТЕМ**

**Методичні вказівки**  
щодо виконання лабораторних і контрольних робіт  
та організації самостійної роботи  
для студентів спеціальності 151 «Автоматизація  
та комп'ютерно-інтегровані технології»  
денної та заочної форм навчання

**Київ 2017**

**Герцій О.А., Наконечна С.В., Шевченко О.В.**

**Технічна експлуатація телекомунікаційних систем:** Методичні вказівки щодо виконання лабораторних і контрольних робіт та організації самостійної роботи для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання. – К.: ДЕГУТ, 2017. – 44 с.

Методичні вказівки містять матеріали для вивчення та отримання практичних навичок з розрахунку характеристик надійності телекомунікаційних систем. У лабораторних та контрольних роботах розглядаються питання оцінки експлуатаційної інтенсивності відмов електронних компонентів систем залізничної автоматики та зв'язку. Завдання на контрольну роботу мають за мету оволодіння студентами практичних навичок розв'язання задач з оцінки надійності пристроїв, що експлуатуються, та розробки заходів з підвищення їх дієздатності. Даються загальні рекомендації щодо організації самостійної роботи з дисципліни.

Призначені для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання. і відповідають програмі курсу «Технічна експлуатація телекомунікаційних систем».

Методичні рекомендації розглянуті та затверджені на засіданні кафедри (протокол № 7 від 12 січня 2017 р.) та на засіданні методичної ради факультету (протокол № 5 від 31 січня 2017 р.).

**Укладачі:** *О.А. Герцій, кандидат технічних наук, доцент кафедри ТТА;*  
*С.В. Наконечна, кандидат технічних наук, доцент кафедри ТТА;*  
*О.В. Шевченко, кандидат технічних наук, доцент кафедри ТТА.*

**Рецензенти:** *С.В. Окоча, кандидат технічних наук, доцент кафедри радіоелектронних пристроїв та систем Навчально-наукового інституту аеронавігації Національного авіаційного університету;*  
*О.І. Стасюк, доктор технічних наук, професор, в.о. проректора з наукової роботи Державного економіко-технологічного університету транспорту.*

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b> .....	4
<b>Частина I. Лабораторні роботи</b> .....	5
Лабораторна робота № 1 .....	5
Лабораторна робота № 2 .....	11
Лабораторна робота № 3 .....	16
<b>Частина II. Завдання на контрольну роботу</b> .....	19
Завдання 1 .....	19
Завдання 2 .....	20
Завдання 3 .....	22
<b>Частина III. Загальні рекомендації щодо організації самостійної роботи</b> .....	23
Завдання на самостійну роботу .....	26
Задачі для самостійного опрацювання .....	30
<b>Система поточного та підсумкового контролю знань студентів</b> ..	36
<b>Питання до екзамену</b> .....	40
<b>Список рекомендованої літератури</b> .....	42

## ВСТУП

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних і контрольних робіт та організації самостійної роботи для студентів з дисципліни «Технічна експлуатація телекомунікаційних систем» розроблені відповідно до навчальної та робочої програми дисципліни і призначені для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання.

Вивчення дисципліни «Технічна експлуатація телекомунікаційних систем» передбачає виконання лабораторних робіт, засвоєння навчального матеріалу у вільний від аудиторних занять час у формі самостійної та індивідуальної навчально-дослідної роботи (контрольної роботи), призначеної формувати практичні навички роботи студентів із спеціальною літературою, орієнтувати їх на інтенсивну роботу, критичне осмислення набутих знань та глибоке вивчення теоретичних і практичних проблем, з якими пов'язана діяльність інженера з автоматики та автоматизації на залізничному транспорті.

Самостійна робота над засвоєнням навчального матеріалу з дисципліни може виконуватися у бібліотеці, навчальних кабінетах та лабораторіях, у домашніх умовах. Рациональна організація самостійної роботи вимагає від студента вмілого розподілу свого часу між аудиторною та позааудиторною роботою. Виконання завдань із самостійної та індивідуальної роботи є обов'язковим для кожного студента.

Методичні рекомендації містять лабораторні роботи, завдання на контрольну роботу, загальні рекомендації щодо організації самостійної роботи з дисципліни; систему поточного та підсумкового контролю знань студентів; питання до екзамену, список рекомендованої літератури.

# Частина I

## Лабораторні роботи

### Лабораторна робота № 1

#### Оцінка експлуатаційної інтенсивності відмов інтегральних мікросхем

Початкове значення експлуатаційної інтенсивності відмов (ЕІВ) будь-якої інтегральної мікросхеми (ІМС) визначають безпосередньо з табл. 1 і 2. Далі це початкове значення ЕІВ використовують як одну із складових (як один із коефіцієнтів у робочій моделі для оцінки результуючого значення ЕІВ) з урахуванням всіх конкретних умов експлуатації цієї ІМС.

У таблиці 1 наведені значення ЕІВ  $\lambda_e$  для умов експлуатації ІМС у наземній стаціонарній ЕА, в лабораторних умовах (ЛУ) при температурі навколишнього середовища 25-35 °С та усереднених електричних режимах.

Для розрахунку ЕІВ при експлуатації ІМС в умовах, що відрізняються від умов експлуатації в наземній стаціонарній апаратурі (в лабораторних умовах), значення ЕІВ, представлені в табл. 1 потрібно домножити на відповідні коефіцієнти експлуатації ( $K_e$ ), приведені в табл. 3.

У разі відсутності або нестачі статистичних даних для оцінки інтенсивності відмов ІМС наводяться очікувані значення ЕІВ  $\lambda'_e$  (табл. 2), які можуть бути використані як орієнтовні значення при розрахунку надійності всіх класів ЕА без урахування коефіцієнта  $K_e$ .

Для орієнтовної оцінки ЕІВ тих серій (або типу номіналів) ІМС, щодо яких відсутні дані в табл. 1 і 2, потрібно скористатися формулою:

$$\lambda_e = \lambda_{o.c.g} \cdot K_{c.l} \cdot K_e. \quad (1)$$

Вихідні дані для розрахунку значень  $\lambda_e$  по (1) наведені в табл. 3 і 4.

## Характеристика надійності інтегральних мікросхем

згідно з дослідними даними

Серія ІМС (типономінал)	T <sub>сум</sub> , млн вир.- год.	d, шт.	λ <sub>e</sub> ·10 <sup>-6</sup> , 1/год	Серія ІМС (типономінал)	T <sub>сум</sub> , млн вир.- год.	d, шт.	λ <sub>e</sub> ·10 <sup>-6</sup> , 1/год
Мікросхеми цифрові інтегральні I-III ступеня інтеграції							
KP1010KT1	0,95	0	0,73	K500 (крім	2,76	0	0,25
K1102 (крім	1,16	0	0,59	K500TM131)			
K1102АП15)				K511	23,80	0	0,03
K155	24,9	6	0,24	KP531	3,88	0	0,18
KM155 (крім	5,89	0	0,12	K555 (крім	19,79	2	0,10
KM155ЛН1, KM155TM2, KM155TM5)				K555ЛА9, K555ЛН2, K555ЛЕ1, K555АГ4)			
KM155ЛН1	1,44	0	0,48	K555ЛА9	1,80	1	0,56
KM155TM2	3,95	0	0,17	K555ЛН2	8,94	0	0,08
KM155TM5	1,28	0	0,54	KM555 (крім	2,21	0	0,31
K176	3,23	0	0,21	KM555ЛА3, KM555ЛП5)			
K180	1,11	0	0,62	KM555ЛА3	1,25	0	0,55
KM1804, KP1804, KC1804	0,90	0	0,77	KM555ЛП5	1,95	0	0,35
K561 (крім	7,34	5	0,68	KP559	5,40	0	0,13
K561ЛА9, K561ЛЕ5, K561ЛЕ6, K561TM3)				K561TM3	1,07	0	0,64
K561ЛЕ6	1,33	0	0,52	KP571	1,02	0	0,68
				K589 (крім	3,95	0	0,17
				K589АП16)			
				K589АП16	2,30	0	0,30
Мікросхеми цифрові інтегральні IV-VI ступеня інтеграції							
KM1804, KP1804, KC1804	0,90	0	0,77	KP580 (крім	1,29	0	0,53
KP556	2,91	0	0,24	KP580BB55A, KP580BK28, KP580BM80A, KP580BH59)			
K565	5,75	2	0,35	KP587	1,42	1	0,70
KP565	2,74	0	0,25	KP588	1,97	0	0,36
K573 (крім	9,95	3	0,30				
K573PΦ5)							

## Закінчення таблиці 1

Серія ІМС (типономінал)	T <sub>сум</sub> , млн вир. - Г	d, шт.	$\lambda_e \cdot 10^{-6}$ , 1/год	Серія ІМС (типономінал)	T <sub>сум</sub> , млн вир.-год	d, шт.	$\lambda_e \cdot 10^{-6}$ , 1/год
Мікросхеми аналогові інтегральні I-III ступеня інтеграції							
КР1005 (крім КР1005УН1 А,Б)	11,13	1	0,10	К174КП1	8,39	0	0,10
КР1006	4,09	2	0,40	К174ПС1	2,89	0	0,24
КС1025КП1	1,19	0	0,58	К174ХА02	4,90	0	0,14
КМ1118ПА1	1,50	0	0,46	К174ХА14	4,05	0	0,17
К140 (крім К140УД22)	5,05	0	0,14	К174УН10А,Б	3,0	0	0,23
К140УД22	2,78	0	0,25	К174УН13	7,65	0	0,10
КР140 (крім КР140УД18)	6,75	0	0,10	К521СА6	2,83	1	0,35
КР140УД18	2,05	0	0,34	К553УД1А,В	2,35	0	0,29
КР1408УД1	2,05	0	0,34	К553УД2	2,95	0	0,34
К142	1,72	0	0,40	К554СА1	2,35	0	0,29
К157	0,77	0	0,90	К554СА2	1,79	0	0,39
К174 (крім К174КП1, К174ПС1, К174ХА02, К174ХА10, К174ХА14, К174УН10А, БК174УН13)	50,83	10	0,20	К554СА3А,Б	4,12	0	0,17
				К572ПА2А,Б, В	1,74	1	0,57
				КМ597СА1	1,97	0	0,35
				КМ597СА2	1,95	0	0,35
				К740-1			
Мікросхеми гібридні I-III ступеня інтеграції							
К224СА3	1,40	0	0,49				

Таблиця 2

## Орієнтовні значення ЕІВ для деяких серій (типономіналів) ІМС

Серія ІМС (типономінал)	$\lambda_e \cdot 10^{-6}$ , 1/год	Серія ІМС (типономінал)	$\lambda_e \cdot 10^{-6}$ , 1/год
Мікросхеми цифрові інтегральні I-III ступеня інтеграції			
К1102АП15	0,90	К55ЛЕ1, К555АГ4	0,90
КР134 (крім КР134ИП2)	0,50	К561ЛА9, К561ЛЕ5	1,00
КР134ИП2		КР580 (крім	1,00
К500ТМ131	1,00	КР580ВА86)	
К523	1,00	КР580ВА86	0,02
	0,50		

## Закінчення таблиці 2

Серія ІМС (типономінал)	$\lambda_e \cdot 10^{-6}$ , 1/год	Серія ІМС (типономінал)	$\lambda_e \cdot 10^{-6}$ , 1/год
Мікросхеми цифрові інтегральні IV-VI ступеня інтеграції			
КБ1004ХЛ13-4; КБ1004ХЛ14-4	0,70	КМ1818, КР1818ВГ93	0,50
КР1015ХК2А,Б, КР1015ХК3А,Б	0,30	КР1820ВЕ2	0,70
КР1016БР1	0,70	КМ1823ВВ1, КМ1823ВУ1	0,50
КМ132РУ5А; КМ132РУ8А,Б; КМ132РУ9А,Б	0,87	К1827ВЕ1, К1827ВЕ2	
КР132РУ6А,Б	0,87	КР185РУ5	1,00
К1500РУ470А	0,87	К500	0,50
КР1506ХЛ1, КР1506ХЛ2	0,90	К537РУ4А,Б	1,00
К1518ВЖ1		КІ537РУ1А	0,87
К1520ХМ1	0,70	КР537	0,30
КБ1523ХП1-4	0,30	КР541РУ2,2А	1,00
К1524ИР1	0,70	К555РЕ4	0,87
КР1601РР1, КР1601РР3	0,70	КР558РР2А,Б	0,70
К1603РЕ1	0,70	КМ558РР3	0,70
К1801РЕ1А,Б; К1801РЕ2А,Б	0,70 0,70	КР568РЕ1, КР568РЕ2; КР568РЕ3	1,00 0,70
КМ1801ВМ2А,Б; КМ1801ВМ3	0,70 0,70	К573РФ5	
КМ1802, КР1802	0,30	КС573РФ2	1,00
К1809ВГ3, К1809РЕ3	0,70	КР580ВВ55А; КР580ВМ80А; КР580ВН59	0,70 0,03
К1809РУ1	0,87	КР580ВК28	
КР1810ВМ86	0,70	КР581РУ1,1А; КР581РУ2,2А; КР581РУ3,3А,;	0,02 0,87
КМ1816ВЕ48	0,70	К589	
		К596	0,30
			0,70
Мікросхеми аналогові інтегральні I-III ступеня інтеграції			
КР1005УН1А,Б	0,50	К1121СА1	0,90
КМ1005УР1А,Б	0,30	К1401	1,00
К1009ЕН1А,Б,В	0,50	КБ1401УД1-4	1,00
КР1012ГП1, КР1012ГП2	1,00	КР142	1,00
КР1021ХА3	1,00	К174ХА10	0,30
КР1027ХА1	1,00	К554СА4	0,90
К1106ХП1, К1106ХП2	0,50	К594ПА1	1,00
К1108ПА1А,Б	1,00	КМ597СА3	1,00
К1113ПВ1А,Б,В	0,90	К733КН1-2	1,00
Мікросхеми аналогові інтегральні IV-V ступеня інтеграції			
КР1021ХА4	0,77	КР1118ПА2А,Б	0,77
К1107ПВ2	1,00	КА528БР2	0,77
К1107ПВ3А,Б	0,77	КР572ПВ1А,Б,В; КР572ПВ2А,Б,В;	
КР1107	0,77	КР572ПВ5	
К1108ПВ1А,Б	1,00		
Мікросхеми гібридні I-III ступеня інтеграції			
К284	0,90		
Мікросхеми гібридні IV ступеня інтеграції			
К427	1,00		



Таблиця 3

## Характеристика надійності окремих груп інтегральних мікросхем

Група інтегральних мікросхем	$\lambda_{ос.г} \cdot 10^{-6}$ , 1/год	К <sub>е</sub> по групах апаратури			
		Наземна			що вико- ристо- вується на човнах
		стаціо- нарна в лабора- торних умовах	переносна	рухома	
Мікросхеми інтегральні напівпровідникові аналогові	0,22				
Мікросхеми інтегральні напівпровідникові цифрові	0,21	1,0	1,7	1,5	2,0
Мікросхеми інтегральні гібридні	0,42				

Таблиця 4

Значення коефіцієнта К<sub>сл</sub> для різних груп інтегральних мікросхем

Група інтегральних мікросхем	Кількість	К <sub>сл</sub>
Мікросхеми інтегральні напівпровідникові цифрові	1-100	1,00
	101-1000	1,27
	1001-2500	1,60
	2501-5000	1,95
	5001-7500	2,15
	7501-10000	2,25
	10001-25000	3,00
	25001-50000	3,70
	50001-75000	4,15
	понад 75000	4,50
Мікросхеми напівпровідникові аналогові і мікросхеми інтегральні гібридні	1-50	1,00
	51-100	1,25
	101-150	1,40
	151-200	1,55
	201-300	1,75
	301-500	2,05
	501-1000	2,50
	понад 1000	3,00

## Приклади розрахунку експлуатаційної інтенсивності відмов

**Приклад 1.** Визначити інтенсивність відмов цифрової ІМС КР531АП2, що складається з 344 елементів, при експлуатації її в наземній стаціонарній апаратурі (лабораторні умови) і в апаратурі, що використовується на транспорті.

Розв'язання. Відповідно до табл. 1 ЕІВ ІМС КР531АП2 при використанні її в наземній стаціонарній апаратурі (лабораторні умови)  $\lambda_e = 0,18 \cdot 10^{-6}$ , 1/год. Для визначення ЕІВ ІС КР531АП2 при використанні її в апаратурі, що застосовується на транспорті, значення інтенсивності відмов  $0,18 \cdot 10^{-6}$ , 1/год. потрібно домножити на значення коефіцієнта експлуатації  $K_e$ , яке дорівнює 2,0 (відповідно до табл. 3). Таким чином, значення ЕІВ виявляється рівним:  $\lambda_e = 0,18 \cdot 10^{-6} \cdot 2,0 = 0,36 \cdot 10^{-6}$ , 1/год.

**Приклад 2.** Визначити інтенсивність відмов аналогової ІМС К554СА4, що складається з 68 елементів, при експлуатації її в наземній стаціонарній і наземній рухомій апаратурі.

Розв'язання. Відповідно до табл. 2 орієнтовне значення ЕІВ  $\lambda_e$  ІМС К554СА4 приймають рівним  $0,9 \cdot 10^{-6}$ , 1/год. як для умов експлуатації її в наземній стаціонарній апаратурі, так і в наземній рухомій апаратурі.

**Приклад 3.** Визначити інтенсивність відмов гібридної ІМС К425УТ1, що складається з 68 елементів, при експлуатації її в наземній стаціонарній апаратурі.

Розв'язання. Значення ЕІВ визначається за формулою виду (1). Відповідно до табл. 3 для гібридних ІМС значення  $\lambda_{oc. r} = 0,42 \cdot 10^{-6}$ , 1/год.  $K_e = 1,0$ . Згідно з табл. 4 значення  $K_{cl} = 1,25$ . При цьому отримуємо:

$$\lambda_e = 0,42 \cdot 10^{-6} \cdot 1,25 \cdot 1,0 = 0,52 \cdot 10^{-6}, 1/\text{год.}$$

## Лабораторна робота № 2

### Оцінка експлуатаційної інтенсивності відмов оптоелектронних напівпровідникових приладів

Перелік оптоелектронних напівпровідникових приладів (ОНПП), для яких потрібно визначити надійність, наведений у табл. 5 з розподілом основних видів ОНПП на групи та підгрупи.

Таблиця 5

Група ОНПП	Підгрупа ОНПП	Тип оптоелектронного напівпровідникового приладу
1	2	3
Діоди випромінювальні	Інфрачервоного діапазону	АП106А-Д; АП107А,Б; АП108АМ, АП109А-1; АП118А; АП119А,Б; АП123А; АП124А; АП132А; АП136А; АП136А-5; АП137А; АП138А
Оптопари	Діодні  Транзисторні  Тиристорні Резисторні	АОД101А-Д; АОД109А-Е;Ж,І; АОД111А; АОД120А-1, Б-1; АОД123А, АОД130А; АОД134АС; АОТ101АС, БС; АОТ102А,Б,В,Г; АОТ110А,Б,В,Г; АОТ127А,Б,В; АОТ128А,Б,В,Г; АОТ137А; АОУ115А-В; АОР-13А; АОРС113А,АОР124А,А1; АОР-124Б,Б1
Мікросхеми оптоелектронні		К249КН1А-Е; К249КП1,2; К249КТ1А,Б,В; К293ПП1А,Б;

Модель для розрахунків ЕІВ окремих груп (підгруп) ОНПП має такий вигляд:

$$\lambda_e = \lambda_o \cdot K_p \cdot K_e \quad (2)$$

або

$$\lambda_e = \lambda_{oc.z} \cdot K_p \cdot K_e. \quad (3)$$

Числові значення складових (коефіцієнтів) у складі моделі (2) і (3) наведені в табл. 6, 7.

Модель (2) використовується в тому разі, якщо конкретний тип ОНПП не визначений або для підбраного типу ОНПП відсутні значення  $\lambda_0$ .

Значення  $K_p$  для мікросхем оптоелектронних приймаємо рівним одиниці.

Значення  $K_p$  для діодів випромінювальних інфрачервоного діапазону і оптопар можуть бути безпосередньо визначені з табл. 6 або розраховані за допомогою моделі (3):

$$K_p = \left( \frac{I_{np.cp}}{I_{np.cpo}} \right)^m \cdot \exp\left( \frac{E_a}{K} \right) \cdot \left( \frac{1}{t_{no+273}} - \frac{1}{t_{n+273}} \right).$$

де  $I_{np.cpo}$  ( $I_{np.cp}$ ) – середній прямиий струм випромінювача в номінальному (робочому) режимі;

$t_{no}$  ( $t_n$ ) – температура р-п-переходу в номінальному (робочому) режимі °С;

$E_a$  – енергія активації процесу деградації ( $E_a = 0,6$  еВ);

$K$  – постійна Больцмана ( $K = 8,625 \cdot 10^{-2}$  еВ/град);

$m$  – показник, залежний від можливостей напівпровідникового кристала.

Показник  $m$  в (3) приймає значення від 1 до 2 (залежно від режиму роботи ОНПП і типу напівпровідникового випромінювального матеріалу). Наприклад, при роботі приладу в імпульсному режимі  $m=2$ . Для інших режимів залежно від типу напівпровідникового випромінювального матеріалу показник  $m$  дорівнює: 1,4 - для GaAs; 1,2 - GaP; 1,5 - для GaAlAs, GaAsP. Температуру р-п-переходу  $t_{no}$  і  $t_n$  в (3) визначають за формулами:

$$t = P_{cp} \cdot R_m + 25 \text{ °С}; \quad (4)$$

$$t = P_{cp} \cdot R_m + t;$$

де  $P_{cp}$  – середня розсіювальна потужність, Вт;

$R_m$  – тепловий опір, град/Вт;

$t$  – температура навколишнього середовища, °С.

При невідомих значеннях  $R_m$  при розрахунках  $K_p$  температури  $t_{no}$  і  $t_n$  приймають рівними:

для діодів випромінювальних інфрачервоного діапазону

$$t_{no}=t+20\text{ }^{\circ}\text{C}=25+20=45\text{ }^{\circ}\text{C}; t_n=t+(I_{np.cp}/I_{np.cpo})\cdot 20\text{ }^{\circ}\text{C};$$

для оптопар

$$t_{no}=t+15\text{ }^{\circ}\text{C}=25+15=40\text{ }^{\circ}\text{C}; t_n=t+(I_{np.cp}/I_{np.cpo})\cdot 15\text{ }^{\circ}\text{C};$$

Таблиця 6

**Характеристика надійності окремих типів  
оптоелектронних напівпровідникових приладів**

Тип ОНПП	$T_{\text{сум}}$ , млн вир.-год	d, шт.	$l_0 \cdot 10$ , 1/год	Тип ОНПП	$T_{\text{сум}}$ , млн вир.-год	d, шт	$l_0 \cdot 10$ , 1/год
<b>Діоди випромінювальні інфрачервоного діапазону</b>							
АЛ106А-Д	-		0,1	АЛ119А,Б	-		0,1
АЛ107А,Б	-		0,1	АЛ123А	-		0,1
АЛ108АМ	2,5	0	0,28	АЛ124А	-		0,1
АЛ109А-1	1,2	0	0,58	АЛ132А	-		0,1
АЛ118А	-		0,1	АЛ136А	-		1
АЛ136А-5	-		1	АЛ138А	-		1
АЛ137А	-		1				
<b>Оптопари діодні</b>							
АОД101А-Д	-		0,1	АОД120А-1,Б-1	2,4	0	0,29
АОД109А-Е,Ж,И	1,1	0	0,63	АОД129А	-		1,2
АОД111А	1,1	0	0,63	АОД130А	-		0,1
				АОД134АС	-		0,1
<b>Оптопари транзисторні</b>							
АОТ101АС,БС	-		0,01	АОТ127А-В	0,92	0	0,75
АОТ102-Г	-		0,5	АОТ128А-Г	-		1
АОТ110А-Г	1,001	1	1	АОТ137А	-		0,1
<b>Оптопари тиристорні</b>							
АОУ115А-В	-		1				
<b>Оптопари резисторні</b>							
АОР113А	0,788	0	0,88	АОР124А,А1	1,24	1	0,8
АОРС113А	0,788	0	0,88	АОР124Б,Б1	1,24	1	0,8
<b>Мікросхеми оптоелектронні</b>							
К249КН1А-Е	0,316	0	0,22	К293ЛП1А,Б	-		0,1
К249КП1,2	0,316	0	0,22				
К249КТ1А-В	0,316	0	0,22				

**Значення коефіцієнта  $K_p$  для окремих груп (підгруп)  
оптоелектронних напівпровідникових приладів**

t, °C	$K_p$ при $I_{np.cp} / I_{np.cpo}$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Діоди випромінювальні інфрачервоного діапазону, що працюють в імпульсному режимі										
25	0,003	0,013	0,032	0,007	0,123	0,205	0,322	0,400	0,713	1,0
30	0,004	0,018	0,048	0,096	0,178	0,292	0,461	0,685	1,0	
35	0,006	0,026	0,068	0,14	0,25	0,414	0,637	0,96		
40	0,008	0,038	0,096	0,197	0,35	0,577	0,89			
45	0,011	0,052	0,135	0,272	0,488	0,792	1,0			
50	0,016	0,073	0,186	0,378	0,665	1,0				
55	0,022	0,1	0,257	0,515	1,0					
60	0,03	0,137	0,35	0,696						
65	0,041	0,185	0,496	1,0						
70	0,055	0,249	0,623							

**Приклад розрахунків експлуатаційної інтенсивності відмов**

**Приклад 1**

Діод випромінювальний інфрачервоного діапазону АЛ107 експлуатується в наземній стаціонарній апаратурі в лабораторних умовах при ТМП навколишнього середовища 30 °С; електричне навантаження  $I_{np.cp}/I_{np.cpo}=0,8$  у безперервному режимі випромінювання. Випромінювальний матеріал приладу – GaAs. Визначити ЕІВ.

**Розв'язання**

Значення розраховують з допомогою моделі (2):

$$\lambda_e = \lambda_o \cdot K_p \cdot K_e .$$

Значення складових (2) знаходять з відповідних таблиць. Зокрема, з табл. 6 знаходять  $\lambda_o=0,1 \cdot 10^{-6}$  1/год. З табл. 7 знаходять значення  $K_p=0,783$ . Нарешті, за табл. 5 визначаємо  $K_e=1$ . Таким чином, значення ЕІВ діода випромінювального типу АЛ107 у заданих умовах експлуатації становить:

$$\lambda_e = 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,783 \cdot 1,0 = 0,0783 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

## **Приклад 2**

Оптопара транзисторна АОТ102А експлуатується в апаратурі при температурі навколишнього середовища 35 °С; електричному навантаженні  $I_{np.cp}/I_{np.cpo} = 0,7$ . В імпульсивному режимі випромінювання визначити ЕІВ.

### **Розв'язання**

Значення ЕІВ розраховуємо за допомогою формули (2). Значення складових (2) знаходять з відповідних таблиць. Зокрема,  $\lambda_o = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год}$  з табл. 7 знаходять значення  $K_p = 0,718 = 0,72$ . Нарешті, з табл. 5 знаходимо  $K_e = 1$ . При цьому значення ЕІВ:

$$\lambda_e = 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,72 \cdot 2,0 = 0,72 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

### Лабораторна робота № 3

#### Оцінка експлуатаційної інтенсивності відмов приладів квантової електроніки

Перелік приладів квантової електроніки (ПКЕ), для яких потрібно визначити ЕІВ, наведений в табл. 8 з розподілом основних видів ПКЕ на групи і підгрупи.

Таблиця 8

Група ПКЕ	Підгрупа ПКЕ	Тип приладу квантової електроніки
1	2	3
Квантрони		К-104А-Г; К-107
Затвори лазерні		МЗ-302
Модулятори		МЛ-102; МЛ-201; МЛ-202
Лазери газові		ЛГН-207А,Б; ЛГМ-208Н,Б; ЛГМ-303; ЛГИ-504
Випромінювачі газових лазерів		ИЛГИ-101; ИЛГИ-503; ИЛГИ-709
Лампи накачки	Імпульсні	ИФП800; ИФП5000; ИФП5000-2; ИСП2000; ИСП5000; ИНПЗ-7/80А; ИНП-16/120А; ИНП-16/250А; ИНП-16/580А; ИНП-16/850; ИФПП2-7000; ИНП-5/45А-1; ИНП-5/60А-1; ИНП-5/75А-1; ИНП-5/90А-1
	Неперервної дії	ДНП-4/45А-1; НДП-4/60А-1; ДНП-4/75А-1; ДНП-6/60А-1; ДНП-6/75А-1; ДНП-6/90А-1

Математична модель для розрахунку експлуатаційної інтенсивності відмов ламп накачки, газових лазерів, випромінювачів газових лазерів має такий вид:

$$\lambda_e = \lambda_{o.c.z} \cdot K_e \quad (5)$$

Модель виду (5) використовується для розрахунку ЕІВ груп (підгруп) ПКЕ в цілому. Крім того, (5) використовується для оцінки інтенсивності



відмов окремих типів (типорядів) ПКЕ, які входять в цю групу (підгрупу) і наведені в табл. 8.

Значення складових (коефіцієнтів)  $\lambda_{o.c.z}$  і  $K_e$ , які входять в (5), наведені в табл. 9. Характеристика надійності деяких конкретних типів ПКЕ, отриманих за результатами дослідних даних, наведена в табл. 10.

Таблиця 9

Характеристика надійності окремих груп (підгруп) приладів  
квантової електроніки

1	2	3	4	5	$K_e$ по групах апаратури				
					Наземна				Та, що застосовується на суднах
Група (підгрупа) ПКЕ	d, шт	$T_{сум}$ млн вир. · год	$\lambda_{o.c.z} \cdot 10^6$ 1/год	Розподілення відмов по видах, (руйнування балона)	Стационарна в лаб. умовах	Стационарна в умовах цехів промислових	Переносна	Пересувна	
Лампи накачки імпульсні	4	193,01 млн. вир. · імп	0,021 1/імп	100					
неперервної дії	7	0,0024	2920	100	1	2	1,5	2,5	2
Лазери газові	0	0,078	8,8	–					
Випромінювачі газових лазерів	0	0,05	13,8	–					

Таблиця 10

Характеристика надійності окремих типів приладів квантової електроніки за дослідними даними

Тип виробу	$T_{сум}$ , прил. · імп.	d, шт.	$\lambda_0$ , 1/імп.
Квантрони			
К-104	$7,257 \cdot 10^7$	0	$9,5 \cdot 10^{-3}$

К-107	$3,854 \cdot 10^7$	0	$1,8 \cdot 10^{-3}$
Затвори лазерні			
МЗ-302	–	–	$2 \cdot 10^{-4}$ <sup>1)</sup> 1/год
Модулятори			
МЛ-102			
МЛ-201	0,033	0	$20,9 \cdot 10^{-6}$ 1/год
МЛ-202	млн прил. год.		

<sup>1)</sup> Очікуване значення інтенсивності відмов.

### Приклад розрахунку експлуатаційної інтенсивності відмов

**Приклад 1.** Розрахувати ЕІВ типоряду ИНП-5 в умовах наземної пересувної апаратури.

**Розв'язання.** Значення ЕІВ розраховують за формулою (5). Для цього з табл. 10 знаходять значення інтенсивності відмов  $\lambda_{oc.z}$  і значення експлуатаційного коефіцієнта  $K_e$  для умов роботи ИНП-5 у складі наземної пересувної апаратури:  $\lambda_{oc.z}=0,021 \cdot 10^{-6}$  1/імп.;  $K_e=2,5$ . При цьому розрахунку значення ЕІВ складає:

$$\lambda_e = \lambda_{oc.z} \cdot K_e = 0,021 \cdot 10^{-6} \cdot 2,5 = 0,052 \cdot 10^{-6} \text{ 1/імп.}$$

## Частина II

### Завдання на контрольну роботу

#### Завдання 1

Пристрій, що працює на дистанції, містить 1600 елементів (реле, резистори, конденсатори, трансформатори та ін.). Фіксувалися відмови через кожні 100 год. роботи ( $\Delta t = 100$  год). Дані про відмови наведені в табл. 11. При цьому до величини  $n(\Delta t_i)$  потрібно додати останню цифру свого шифру ( $N_i$ ).

Таблиця 11

$\Delta t_i$	$n(\Delta t_i)$	$\Delta t_i$	$n(\Delta t_i)$
0 - 100	51	800 - 900	22
100 - 200	46	900 - 1000	22
200 - 300	41	1000 - 1100	21
300 - 400	38	1100 - 1200	20
400 - 500	34	1200 - 1300	21
500 - 600	31	1300 - 1400	19
600 - 700	26	1400 - 1500	20
700 - 800	23	1500 - 1600	19

Необхідно визначити критерії надійності:

- імовірність безвідмовної роботи  $P(t)$ ;
- імовірність відмови  $\theta(t)$ ;
- інтенсивність відмови  $\lambda(t)$ ;
- параметр потоку відмов  $a(t)$ ;
- середній час безвідмовної роботи  $T_{cp}$ ;
- побудувати графіки.

## Рекомендації щодо виконання

1. Імовірність безвідмовної роботи  $P(t)$  – подія, при якій за певний проміжок часу в заданих умовах експлуатації й інтервалі часу не відбудеться жодної відмови:

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}$$

де  $N_0$  — число виробів до початку випробувань;  $n(t)$  – число виробів, що відмовили за час  $t$ .

2. Протилежна подія – імовірність відмови  $Q(t)$  – є імовірність того, що за певних умов експлуатації і заданого інтервалу часу з'явиться хоч би одна відмова:

$$Q(t) = 1 - P(t);$$

3. Інтенсивність відмови  $\lambda(t)$  є відношення числа виробів, що відмовили в одиницю часу, до середнього числа виробів, що справно працюють в даний відрізок часу:

$$\lambda(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp} \cdot \Delta t}$$

$$N_{cp} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2}$$

4. Параметр потоку відмов  $a(t)$ .

$$a(t) = P(t) \cdot \lambda(t)$$

5. Середній час безвідмовної роботи

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda}$$

## Завдання 2

Під час експлуатації системи автоматики було зафіксовано  $n = 20$  відмов протягом 350 год. При цьому розподіл відмов окремих елементів

системи і час, витрачений на їх усунення (час відновлення), приведені в табл. 12.

Необхідно визначити середній час відновлення і коефіцієнт готовності. S – остання цифра шифра.

Таблиця 12

Елементи системи	Кількість відмов	Вагомість відмов по групі $m_i$	Час відновлення	Сумарний час відновлення
Напівпровідникові прилади	5 + S	0,25	30 20 2 2 17 23	130
Реле	2	0,1	10 12	22
Резистори (конденсатори)	10	0,5	—	230
Паяння	3	0,15	—	42

### Рекомендації до виконання

Середній час відновлення апаратури для групи відповідних елементів системи:

$$\tilde{t}_{в.н.} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n_i}$$

Середній час відновлення системи:

$$t_{в.с.} = \sum_{i=1}^n \tilde{t}_{в.н.i} \cdot m_i, \text{ де } m_i = \frac{n_i}{n}.$$

Коефіцієнт готовності системи:

$$K_z = \frac{T_0}{T_0 + t_{в.с.}}$$

### Завдання 3

Визначити кількісні характеристики надійності  $P(t)$ ,  $a(t)$ ,  $\lambda(t)$  і  $T_{cp}$  інтегральних мікросхем для часу їх роботи  $t = 500, 1000, 2000$  г за умови, що параметр розподілу  $\sigma = 1000$  г.

Час роботи інтегральних мікросхем повністю підпорядковується закону розподілу Релея.

### Рекомендації до виконання

Кількісні характеристики надійності при різних моментах виходу з ладу всіх випробовуваних елементів зазвичай визначають на підставі законів розподілу часу повністю. Часто застосовується закон розподілу часу безвідмовної роботи Релея.

Згідно з законом Релея кількісні характеристики надійності визначаються за такими формулами.

- параметр потоку відмов:

$$a(t) = \frac{t}{\sigma^2} \cdot e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}$$

- інтенсивність відмов:

$$\lambda = \frac{t}{\sigma^2}$$

- ймовірність безвідмовної роботи:

$$P(t) = e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}$$

- середній час безвідмовної роботи:

$$T_{cp} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \sigma$$

## Частина III

### Загальні рекомендації щодо організації самостійної роботи

Обов'язковим елементом успішного засвоєння навчального матеріалу дисципліни «Технічна експлуатація телекомунікаційних систем» є самостійна робота студентів з вітчизняною та зарубіжною спеціальною літературою з питань автоматичної телемеханіки та зв'язку на залізничному транспорті, технічної експлуатації та обслуговування систем залізничної автоматичної та зв'язку, методів і алгоритмів розрахунку надійності технічних систем. Самостійна робота є основним засобом оволодіння навчальним матеріалом у час, вільний від нормованих навчальних занять, тобто лекційних, практичних і лабораторних занять (аудиторної роботи).

*Основні види самостійної роботи*, на які повинні звертати увагу студенти:

- вивчення лекційного матеріалу;
- опрацювання та вивчення рекомендованої літератури;
- підготовка до практичних занять;
- підготовка до лабораторних робіт;
- робота над звітом з виконання самостійної роботи;
- робота над індивідуальним завданням (контрольною роботою);
- самоперевірка студентом власних знань за запитаннями для самодіагностики;
- підготовка до підсумкового контролю (екзамену).

*Опрацювання лекційного матеріалу.* Перший етап самостійної роботи починається з процесу слухання і конспектування лекції. Правильно складений конспект лекції – найефективніший засіб стимулювання подальшої самостійної роботи студентів. Студент повинен чітко усвідомити, що конспект – це короткий тезовий запис головних положень навчального матеріалу. Складання та вивчення конспекту – перший етап самостійної роботи студента над вивченням теми чи розділу. Конспект допомагає в раціональній

підготовці до практичних занять, лабораторних робіт, екзамену у визначенні напрямку і обсягу подальшої роботи з літературними джерелами. На лекціях висвітлюються лише основні теоретичні положення та найактуальніші проблеми, тому більшість питань виноситься на самостійне опрацювання.

*Підготовка до практичних занять та лабораторних робіт.* Підготовку до практичних занять розпочинають з опрацювання лекційного матеріалу. Студент повинен самостійно ознайомитися з відповідним розділом робочої програми, підготувати відповіді на контрольні питання, які подані в програмі.

Відповідно до навчального плану з кожної теми курсу проводяться практичні заняття. Викладач у вступній лекції рекомендує студентам основну і додаткову літературу, а також методичні рекомендації щодо самостійної роботи та для виконання лабораторних і контрольних робіт з дисципліни. У методичних рекомендаціях з кожної теми наведено перелік питань для теоретичної підготовки до заняття і завдання для аналітичних розрахунків.

*Робота над індивідуальним завданням.* Виконання індивідуального завдання (контрольної роботи) винесено на самостійне опрацювання студентами. У межах дисципліни «Технічна експлуатація телекомунікаційних систем» як індивідуальне завдання виконується комплексна контрольна робота. Контрольна робота передбачає: систематизацію, закріплення, розширення теоретичних і практичних знань із дисципліни та застосування їхньої під час вирішення конкретних практичних ситуацій. Також виконання контрольної роботи передбачає розвиток навичок самостійної роботи й оволодіння методикою дослідження, пов'язаною з визначенням основних експлуатаційних характеристик залізничної апаратури автоматики та зв'язку з точки зору їх надійності та проведення відповідних регламентних робіт з обслуговування.

Завдання на контрольну роботу видається студенту викладачем на початку вивчення дисципліни. Робота виконується самостійно у міжсесійний



період під час консультування викладачем протягом вивчення дисципліни відповідно до графіка навчального процесу. Оцінка за виконання контрольної роботи враховується при виставленні загальної оцінки з дисципліни.

Студент виконує контрольну роботу відповідно до заданого варіанта та узгоджує його з викладачем. У процесі виконання контрольної роботи студент має опрацювати лекційний матеріал та рекомендовані літературні джерела з посиланням на використання певної інформації у тексті роботи.

Контрольна робота складається з: титульної сторінки, змісту, теоретичних питань та практичних завдань, висновків, списку літератури.

Титульна сторінка повинна містити назву навчального закладу, кафедри, навчальної дисципліни; тему контрольної роботи; прізвище та ініціали студента; шифр; номер академічної групи; дату подання контрольної роботи викладачеві на перевірку.

Зміст повинен містити назви розділів, підрозділів і т. ін., які розкривають тему контрольної роботи, з зазначенням номерів сторінок, на яких вони розміщені.

Основна частина обов'язково складається з взаємозв'язаних теоретичної, аналітичної та практичної частин.

У висновках викладаються перелік пропозицій та рекомендацій і результати одержані в контрольній роботі.

Список використаної літератури необхідно скласти у певному порядку: спочатку наводяться законодавчі та нормативні акти, далі загальна та спеціальна література в алфавітному порядку, потім Інтернет джерела, і в кінці – література на іноземній мові.

Контрольну роботу слід оформлювати відповідно до вимог, розроблених і затверджених профілюючою кафедрою. Обсяг контрольної роботи визначається повнотою висвітлення теоретичних питань та розв'язання практичних завдань, шрифт Times New Roman, 14, полуторний інтервал; поля: верхнє й нижнє, ліве – не менше 20 мм, праве – не менше 10 мм.

## **Завдання на самостійну роботу**

З кожної теми дисципліни студенти готують звіт з виконання завдань самостійної роботи. У звіті наводять стислі відповіді на контрольні запитання відповідної теми та аналітичні розрахунки розв'язання задач. Кожен студент вибирає задачу відповідно до номера студента у журналі групи.

### **Тема 1. Планові роботи технічної експлуатації**

Особливість технічної експлуатації телекомунікаційних систем, рішення питань організації технічної експлуатації, організація обслуговуючої ділянки, обладнання технічної експлуатації, організація аварійно-відбудовних робіт, технологія проведення аварійно-відбудовних робіт, організації охорони праці з питань роботи з оптичним волокном, технічна експлуатація первинної мережі, сукупність методів і алгоритмів технічного обслуговування, організація і підтримка установлених норм об'єктів технічної експлуатації.

*Основні питання для самостійного опрацювання:*

1. Основні поняття і визначення технічної експлуатації.
2. Поняття системи і надійність системи.
3. Модель системи автоматичного обслуговування об'єкта експлуатації.
4. Організація технічної експлуатації систем.
5. Основні види робіт технічної експлуатації.
6. Основні показники технічного обслуговування.

**Література:** основна [1 – 3, 5, 7]; додаткова [11, 14].

### **Тема 2. Технічна експлуатація волоконно-оптичних ліній зв'язку**

Об'єкти технічної експлуатації, технічні засоби електрозв'язку, тракти і канали передачі, сигнали контролю і керування, додаткове і спеціальне обладнання волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ), засоби для підтримки працездатності, спецобладнання для захисту інформації, лінійні тракти кабельних мереж, радіорелейне обладнання, супутникові і повітряні системи

передачі, ділянки ліній передачі, мультиплексні і регенераційні секції ВОЛЗ, цифрові системи передачі, системи цифрової ієрархії, апаратура й обладнання мережних вузлів (станцій).

*Основні питання для самостійного опрацювання:*

1. Навести основні варіанти використання волоконно-оптичних підсилювачів у лініях далекого зв'язку і зазначити типові значення довжини безрегенераційної ділянки.
2. Накреслити структурну схему волоконно-оптичної системи передачі і пояснити призначення його основних елементів.
3. На основі яких критеріїв вибираються передавальні і приймальні пристрої для системи передачі, яка обслуговується?
4. Охарактеризуйте каналний, лінійний та рівень секцій.
5. Особливості технічної експлуатації волоконно-оптичних ліній зв'язку.
6. Правила роботи з оптичними кабелями.

**Література:** основна [2, 4, 7]; додаткова [12 – 15].

### **Тема 3. Автоматизація процесів технічної експлуатації**

Технічна експлуатація на первинних мережах, технічний змінний і незмінний персонал, центр технічної експлуатації для цифрових мереж, ієрархія системи технічної експлуатації, технічні служби операторів мереж, система оперативно-технічного обслуговування, аналогові і цифрові мережі, введення системи в експлуатацію (паспортизація), підтримка номінальних значень параметрів, відновлення працездатності, ремонтно-налагоджувальні і ремонтно-відбудовчі роботи, вимір робочих характеристик, виявлення відмовлень, сигналізація про відмовлення і робочі характеристики, резервування, перевірка після відновлення.

*Основні питання для самостійного опрацювання:*

1. Поняття ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності відмови.
2. Автоматизація процесів технічного обслуговування систем.
3. Оцінка експлуатаційної інтенсивності відмов інтегральних мікросхем.

4. Оцінка експлуатаційної інтенсивності відмов пасивних радіоелементів.
5. Оцінка експлуатаційної інтенсивності відмов елементів конструкцій систем автоматики.
6. Види і методи контролю технічного стану систем.
7. Зміст і методи технічного обслуговування.
8. Автоматизація процесів технічної експлуатації систем передачі та залізничної автоматики.

**Література:** основна [1, 5, 6]; додаткова [8, 10].

#### **Тема 4. Методи оцінки технічної надійності систем передачі**

Профілактичне технічне обслуговування, критерії оцінки технічної надійності, запобігання можливості появи відмовлення або погіршення функціонування об'єктів технічного обслуговування (ОТЕ), коригувальне технічне обслуговування, виявлення стану непрацездатності, відновлення працездатності, контроль параметрів якості ОТЕ, допуски функціонування; кероване технічне обслуговування, систематичне застосування методів аналізу стану ОТЕ, використання засобів контролю робочих характеристик ОТЕ, засоби керування якістю передачі й усунення несправностей, скорочення часу коригувального технічного обслуговування.

*Основні питання для самостійного опрацювання:*

1. Поняття інтенсивності відмови і середнього часу безвідмовної роботи.
2. Поняття ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності відмови.
3. Показники довговічності і збереженості.
4. Методи розрахунку технічної надійності систем.
5. Коефіцієнт технічного використання.
6. Види і методи контролю технічного стану систем.
7. Зміст і методи технічного обслуговування.
8. Методи розрахунку інженерної надійності.

**Література:** основна [2, 4 – 6 ]; додаткова [9, 11].

## Тема 5. Основні визначення теорії надійності

Надійність, довговічність, збереженість, відмовостійкість, наробка до відмови, інтенсивність відмов, ймовірність безвідмовної роботи, ймовірність відмови, параметр потоку відмов, середній час безвідмовної роботи, періодичний експлуатаційний контроль, планові виміри робочих характеристик, планові заміни компонентів апаратури, поточне обслуговування обладнання й апаратури, безупинний експлуатаційний контроль, епізодичний експлуатаційний контроль, оперативно-технічний контроль, вимір робочих характеристик, операції керування і переключення на резерв.

*Основні питання для самостійного опрацювання:*

1. Поняття інтенсивності відмови і середнього часу безвідмовної роботи.
2. Поняття ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності відмови.
3. Показники довговічності і збереженості.
4. Методи розрахунку інженерної надійності.
5. Основні визначення теорії надійності.
6. Методи розрахунку технічної надійності.
7. Організаційні та регламентні роботи з технічного обслуговування.

**Література:** основна [1, 2, 6 ]; додаткова [8, 9, 11].

## **Задачі для самостійного опрацювання**

### **Задача 1**

Визначити інтенсивність відмов цифрової інтегральної мікросхеми КР531АП2, що складається з 344 елементів, при експлуатації її в наземній стаціонарній апаратурі (лабораторні умови) і в апаратурі, що використовується на транспорті.

### **Задача 2**

Визначити інтенсивність відмов аналогової інтегральної мікросхеми К554СА4, що складається з 68 елементів, при експлуатації її в наземній стаціонарній і наземній рухомій апаратурі.

### **Задача 3**

Визначити інтенсивність відмов гібридної інтегральної мікросхеми К425УТ1, що складається з 68 елементів, при експлуатації її в наземній стаціонарній апаратурі.

### **Задача 4**

Діод випромінювальний інфрачервоного діапазону АЛ107 експлуатується в наземній стаціонарній апаратурі в лабораторних умовах при температурі навколишнього середовища 30 °С; електричне навантаження  $I_{np.cp}/I_{np.cpo}=0,8$  у безперервному режимі випромінювання. Випромінювальний матеріал приладу – GaAs. Визначити експлуатаційну інтенсивність відмов.

### **Задача 5**

Оптопара транзисторна АОТ102А експлуатується в апаратурі при температурі навколишнього середовища 35 °С; електричному навантаженні  $I_{np.cp}/I_{np.cpo}=0,7$ . В імпульсному режимі випромінювання визначити експлуатаційну інтенсивність відмов.

### **Задача 6**

Розрахувати експлуатаційну інтенсивність відмов типоряду ИНП-5 в умовах наземної пересувної апаратури.

### **Задача 7**

Тиратрон типу ТГИ 2-500/20 експлуатується в наземній пересувній апаратурі. Визначити значення експлуатаційної інтенсивності відмов.

### **Задача 8**

Лічильник гамма-випромінювання типу СИ 37Г експлуатується у складі наземної переносної апаратури. Визначити значення експлуатаційної інтенсивності відмов.

### **Задача 9**

Індикатор літерно-цифровий напівпровідниковий АЛС358А експлуатується в складі стаціонарної апаратури при температурі 20 °С, електричному навантаженні  $I_{\text{пр.ср}}/I_{\text{пр.ср.о}}=0,5$  в неперервному режимі випромінювання,  $R_{\text{T}}=120$  град/Вт,  $I_{\text{пр.ср.о}}=8$  мА,  $U_{\text{пр}}=2$ В. Випромінюючий матеріал *GaAsP*. Визначити значення експлуатаційної інтенсивності відмов.

### **Задача 10**

Розрахувати значення експлуатаційної інтенсивності відмов для лампи ИФК 150 в умовах експлуатації в складі наземної пересувної електронної апаратури.

### **Задача 11**

Індикатор цифровий багаторозрядний вакуумний ИВ-18 експлуатується в радіоапаратурі. Визначити значення експлуатаційної інтенсивності відмов.

### **Задача 12**

Металодіелектричний резистор С2-23 номінальної потужності 0,125 Вт і опором 10 Ом експлуатується в наземній стаціонарній апаратурі в лабораторних умовах при температурі 40°С і потужності 0.1 Вт. Визначити значення експлуатаційної інтенсивності відмов.

### **Задача 13**

Розрахувати експлуатаційну інтенсивність відмов підсилювача М42204-1-3, для умов експлуатації в апаратурі, що використовується в цехах промислових підприємств.

#### **Задача 14**

Визначити інтенсивність відмов імпульсного діода КД521А в режимі перемикання при експлуатації в наземній рухомій апаратурі, температурі 40°C і 40% від максимальної напруги.

#### **Задача 15**

Дротяний прицевий резистор експлуатується при температурі 35°C. Відношення  $P/P_H=0.3$ , опором менше ніж 1 кОм. Визначити значення експлуатаційної інтенсивності відмов.

#### **Задача 16**

Оксидно-напівпровідниковий конденсатор К53-14 ємністю  $C=0,33$  мкФ на номінальну напругу  $U_H=20$  В експлуатується в апаратурі при напрузі  $U=16$  В і температурі  $t=40^\circ\text{C}$ . Активний послідовний опір  $R$  між конденсатором і джерелом живлення дорівнює 30 Ом. Визначити значення експлуатаційної інтенсивності відмов.

#### **Задача 17**

Розрахувати експлуатаційну інтенсивність відмов магнетрона М-95, що експлуатується в умовах наземної переносної радіоелектронної апаратури.

#### **Задача 18**

Керамічний високовольтний конденсатор ємністю  $C=1000$  пФ експлуатується в стаціонарному телевізійному приймачі при номінальній напрузі  $U=U_H$  і ТМП  $t=40^\circ\text{C}$ . Визначити значення експлуатаційної інтенсивності відмов.

#### **Задача 19**

Змінний недротяний композиційний плівковий резистор СПЗ-9 потужністю 0,5 Вт та опором 80 кОм експлуатується в наземній переносній електронній апаратурі при розсіюванні потужності 0,2 Вт та температурі 35°C. Визначити значення експлуатаційної інтенсивності відмов.



### Задача 20

Перемикач галетний ПГ13 експлуатується в наземній переносній апаратурі при температурі 40° С. Коефіцієнт навантаження  $I/I_{н} = 0,4$ . Визначити значення експлуатаційної інтенсивності відмов.

### Задача 21

Трансформатор ТС -14-2 експлуатується в наземній рухомій апаратурі при температурі 35°С. Визначити значення експлуатаційної інтенсивності відмов.

### Задача 22

Визначити експлуатаційну інтенсивність відмов з'єднувача СНП40, виготовленого по БРО.364.007 ТУ, при експлуатації в наземній стаціонарній апаратурі. Кількість задіяних контактів  $N=20$ , необхідна кількість зчленувань  $n=50$ , температура при експлуатації  $t=25^{\circ}\text{C}$ , струмове навантаження на контакти  $I/I_{\text{макс}} = 0,4$ . Температура перегріву контактів при максимальному струмовому навантаженні  $t_n=20^{\circ}\text{C}$ .

### *Приклади розрахунку експлуатаційної інтенсивності відмов*

**Приклад 1.** Визначити інтенсивність відмов стабілітрона КС456А в номінальному режимі при експлуатації в наземній рухомій апаратурі при електричному навантаженні рівному 0,5 від максимально допустимого, температурі 30°С і 40% від максимальної напруги.

**Рішення.** Значення експлуатаційної інтенсивності відмов напівпровідникових приладів розраховують за формулою:

$$\lambda_e = \lambda_{0с.г} \cdot K_p \cdot K_f \cdot K_{д.н} \cdot K_{s1} \cdot K_e.$$

Значення складових формули знаходять із відповідних таблиць [6]. Зокрема, знаходимо  $\lambda_{0с.г} = 0,045 \cdot 10^{-6}$  1/год. для стабілітронів;  $K_e=2,5$  для наземної рухомій апаратури;  $K_p=0,195$  при  $I_{нр.ср}/(I_{нр.ср.макс})=0,5$  і  $t=30^{\circ}\text{C}$ ;  $K_{д.н}=0,6$  для стабілітронів із значенням  $I_{нр.ср.макс} < 1\text{A}$ ;  $K_f=0,6$  для номінального режиму роботи;  $K_{s1}=0,7$  для  $S_I=40\%$ .

Таким чином значення експлуатаційної інтенсивності відмов стабілітрона КС456А в заданих умовах складає

$$\lambda_e = 0,045 \cdot 10^{-6} \cdot 0,195 \cdot 0,6 \cdot 0,6 \cdot 0,7 \cdot 2,5 = 0,0055 \cdot 10^{-6} \text{ (1/год.)}$$

**Приклад 2.** Індикатор шкальний напівпровідниковий АЛС317А експлуатується в складі стаціонарної апаратури в цеху промислового підприємства при температурі 30 °С, електричному навантаженні  $I_{np.cp}/I_{np.cp.o} = 0,8$  в неперервному режимі випромінювання,  $R_T = 150$  град/Вт,  $I_{np.cp.o} = 10$  мА,  $U_{np} = 2$ В, кількість випромінюючих елементів  $r = 5$ . Випромінюючий матеріал *GaAsP*. Визначити експлуатаційну інтенсивність відмов.

**Рішення.** Значення експлуатаційної інтенсивності відмов випромінюючих приладів розраховують за формулою:

$$\lambda_e = \lambda_o \cdot K_p \cdot K_e$$

Значення складових моделі знаходять з відповідних таблиць [6]: знаходимо значення  $\lambda_o = 0,19 \cdot 10^{-6}$  1/год.; коефіцієнт  $K_e = 2$ .

Значення коефіцієнта  $K_p$  розраховують за формулою:

$$K_p = (I_{np.cp}/I_{np.cp.o})^m \cdot \exp \cdot E_a/K \cdot (1/(t_{no} + 273) - 1/(t_n + 273)),$$

де  $I_{np.cp.o}$  ( $I_{np.cp}$ ) – середній прямий струм випромінювача в номінальному (робочому) режимі;  $t_{no}$  – температура *p-n* переходу в номінальному режимі, °С;  $E_a$  – енергія активації процесу деградації ( $E_a = 0,6$  еВ);  $K$  – стала Больцмана ( $K = 8,625 \times 10^{-5}$  еВ/град);  $m$  – показник, який залежить від властивостей напівпровідникового кристалу і режиму роботи індикатора,  $m = 1,5$  для матеріалу напівпровідника *GaAsP*.

Значення  $t_{no}$  і  $t_n$  розраховують за формулами:

$$t_n = P_{cp} \cdot R_T + t; \quad t_{no} = P_{cp} \cdot R_T + 25 \text{ °С},$$

де,  $P_{cp}$  – середня розсіювана потужність, Вт;  $R_T$  – тепловий опір, град/Вт;  $t$  – температура навколишнього середовища, °С.

$$t_{no} = P_{cp} \cdot R_T + 25 \text{ °С} = 2 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 150 + 25 = 40 \text{ °С};$$

$$t_n = 0,8 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 150 + 30 = 42 \text{ °С}$$

З врахуванням отриманих значень  $m$ ,  $t_{no}$  і  $t_n$  значення  $K_p$  згідно з формулою буде рівним:

$$K_p = 0,8^{1,5} \cdot \exp(0,6 / (8,625 \cdot 10^{-5})) \cdot (1 / (40+273) - 1 / (42+273)) = 0,82$$

При цьому значення експлуатаційної інтенсивності відмов  $\lambda_e$  складає

$$\lambda_e = 0,19 \cdot 10^{-6} \cdot 0,82 \cdot 2 = 0,31 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

**Приклад 3.** Розрахувати експлуатаційну інтенсивність відмов магнетрона М-107, що експлуатується в умовах наземної переносної радіоелектронної апаратури.

**Рішення.** Значення експлуатаційної інтенсивності відмов розраховують за допомогою формули:

$$\lambda_e = \lambda_o \cdot K_e .$$

З відповідних таблиць [6] знаходять значення інтенсивності відмов  $\lambda_o$  і коефіцієнт  $K_e$  для умов експлуатації наземної переносної апаратури:

$$\lambda_o = 37,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год; } K_e = 1,5.$$

Розрахункове значення експлуатаційної інтенсивності відмов складає:

$$\lambda_e = 37,5 \cdot 10^{-6} \cdot 1,5 = 56,2 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

## СИСТЕМА ПОТОЧНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ

Оцінювання знань, вмінь та навичок студентів включає ті види занять, які згідно з програмою навчальної дисципліни «Технічна експлуатація телекомунікаційних систем» передбачають лекційні та практичні заняття, лабораторні роботи, самостійну роботу та виконання індивідуальних завдань, зокрема контрольної роботи.

Перевірка та оцінювання знань студентів проводиться в таких формах:

- оцінювання роботи і знань студентів під час практичних занять та виконання лабораторних робіт;
- оцінювання виконання, презентацію та захист індивідуального завдання (контрольної роботи);
- підготовка звіту з виконання самостійної роботи;
- складання проміжного контролю знань (тестування);
- складання екзамену.

*Поточне оцінювання* знань студентів здійснюється під час проведення практичних занять та виконання лабораторних робіт і має на меті перевірку рівня підготовленості студента до виконання конкретної роботи. Об'єктами поточного контролю є:

- активність та результативність роботи студента над вивченням програмного матеріалу дисципліни;
- відвідування занять;
- виконання індивідуального завдання (контрольної роботи);
- складання проміжного контролю (тестування).

Контроль систематичного виконання самостійної роботи та активності на практичних заняттях проводиться за такими критеріями:

- розуміння, ступінь засвоєння теорії та методології проблем, що розглядаються;

- ступінь засвоєння фактичного матеріалу навчальної дисципліни;
- ознайомлення з рекомендованою літературою, а також із сучасною літературою з питань, що розглядаються;
- уміння поєднувати теорію з практикою при розгляді практичних ситуацій, розв'язанні задач, проведенні розрахунків при виконанні індивідуальних завдань, та завдань, винесених на розгляд в аудиторії;
- логіка, структура, стиль викладення матеріалу в письмових роботах і під час виступів в аудиторії, вміння обґрунтовувати свою позицію, здійснювати узагальнення інформації та робити висновки.

Оцінка «відмінно» ставиться за умови відповідності виконаного завдання студента або його усної відповіді до всіх зазначених критеріїв. Відсутність тієї чи іншої складової знижує оцінку.

При оцінюванні практичних занять увага приділяється також їх якості та самостійності, своєчасності здачі виконаних завдань викладачу (згідно з графіком навчального процесу). Якщо якась із вимог не буде виконана, то оцінка буде знижена.

*Звіт* з виконання самостійної роботи є основною частиною самостійної роботи студента над навчальною дисципліною «Технічна експлуатація телекомунікаційних систем».

Мета написання звіту – поглиблення теоретичних знань, набутих студентами в процесі самостійного опрацювання дисципліни, а також вміння розв'язувати прикладні задачі.

Індивідуальне завдання (контрольна робота) є обов'язковою частиною самостійної роботи студента.

Написання контрольної роботи має сприяти глибшому засвоєнню студентами дисципліни «Технічна експлуатація телекомунікаційних систем», спонукає ґрунтовно вивчати спеціальні наукові видання вітчизняних і зарубіжних авторів, у яких розглядаються питання, пов'язані з проведеннями

досліджень з визначенням основних експлуатаційних характеристик залізничної апаратури автоматики та зв'язку з точки зору їх надійності та проведення відповідних регламентних робіт з обслуговування.

*Контрольна робота оцінюється за критеріями:*

- самостійності виконання;
- логічності та послідовності викладення матеріалу;
- деталізації плану;
- повноти та глибини розкриття теми, проблемної ситуації, аналітичної частини;
- наявності ілюстрацій (таблиці, рисунки, схеми і т. ін.);
- використання статистичної інформації, додаткових літературних джерел та ресурсів мережі Internet;
- відображення практичного досвіду;
- обґрунтованості висновків;
- наявності конкретних пропозицій і прогнозів з обов'язковим посиланням на використані літературні джерела;
- якості оформлення, презентації та захисту контрольної роботи.

*Проміжний контроль* рівня знань передбачає виявлення опанування студентом лекційного матеріалу та вміння застосовувати його для вирішення практичної ситуації і проводиться у вигляді тестування. При цьому тестове завдання може містити як питання, що стосуються суто теоретичного матеріалу, так і питання, спрямовані на вирішення невеликого практичного завдання.

Для оцінювання рівня відповідей студентів на тестові завдання використовують такі критерії оцінювання (табл. 13).

Тести можуть бути застосовані, як з метою контролю, так і для закріплення теоретичних знань і практичних навичок. Тести обирають із загального переліку тестів за відповідними темами.

*Підсумковий контроль* – у формі екзамену. Загальна тривалість екзамену – 6 годин. До складання екзамену допускають студентів, що задовільно пройшли тестування з основних навчальних елементів, написали та захистили контрольну роботу, склали глосарій та інших завдань, передбачених програмою дисципліни.

Таблиця 13

**Шкала оцінювання: національна та ECTS**

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	<b>A</b>	відмінно	зараховано
82-89	<b>B</b>	добре	
74-81	<b>C</b>		
64-73	<b>D</b>	задовільно	
60-63	<b>E</b>		
35-59	<b>FX</b>	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
1-34	<b>F</b>	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

## ПИТАННЯ ДО ЕКЗАМЕНУ

1. Основні поняття і визначення технічної експлуатації.
2. Поняття інтенсивності відмови і середнього часу безвідмовної роботи.
3. Поняття системи і надійність системи.
4. Поняття ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності відмови.
5. Показники довговічності і збереженості.
6. Методи розрахунку технічної надійності систем.
7. Коефіцієнт технічного використання.
8. Модель системи автоматичного обслуговування об'єкта експлуатації.
9. Організація технічної експлуатації систем.
10. Автоматизація процесів технічного обслуговування систем.
11. Основні види робіт технічної експлуатації.
12. Основні показники технічного обслуговування.
13. Оцінка експлуатаційної інтенсивності відмов інтегральних мікросхем.
14. Оцінка експлуатаційної інтенсивності відмов пасивних радіоелементів.
15. Оцінка експлуатаційної інтенсивності відмов елементів конструкцій систем автоматики.
16. Види і методи контролю технічного стану систем.
17. Зміст і методи технічного обслуговування.
18. Планові роботи технічної експлуатації та обслуговування.
19. Технічна експлуатація на первинних мережах зв'язку.
20. Оперативно-технічний контроль апаратури.
21. Сутність експлуатаційного контролю.
22. Регламент поточного обслуговування обладнання й апаратури.
23. Профілактично-технічне обслуговування систем автоматики.
24. Критерії оцінки технічної надійності.
25. Коригувальне технічне обслуговування автоматизованих систем.



26. Кероване технічне обслуговування.
27. Методи аналізу стану об'єктів технічної експлуатації.
28. Особливості технічної експлуатації волоконно-оптичних ліній зв'язку.
29. Автоматизація процесів технічної експлуатації систем передачі та залізничної автоматики.
30. Методи оцінки технічної надійності систем передачі та залізничної автоматики.
31. Методи розрахунку інженерної надійності.
32. Основні визначення теорії надійності.
33. Методи розрахунку технічної надійності.
34. Організаційні та регламентні роботи з технічного обслуговування.
35. Організація та технологія проведення аварійно-відбудовних робіт.
36. Сукупність методів і алгоритмів технічного обслуговування.
37. Організація і підтримка установлених норм об'єктів технічної експлуатації.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

### Основна література

1. *Сапожников В.Н.* Техническая эксплуатация систем железнодорожной автоматики и связи. – М: Транспорт, 1986. – 264 с.
2. *Сапожников В.Н., Иванов А. Б.* Проектирование и техническая эксплуатация систем передачи. – М: Транспорт, 1988. – 185 с.
3. *Технічна експлуатація систем передачі та автоматики: Методичні рекомендації щодо виконання лабораторних та контрольних робіт для студентів спеціальності 7.092507 «Автоматика та автоматизація на транспорті» заочної форми навчання / О.А. Герцій, О.В. Шевченко.* – К.: Редакційно-видавничий центр ДЕУТ, 2008 – 22 с.
4. *Коптев И.С.* Методы оценки надежности аппаратуры автоматики и связи. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 174 с.
5. *Переборов А.С.* и др. Теоретические основы автоматики и телемеханики. – М.: Транспорт, 1984.
6. *Ушаков А.И., Козлов Б.А.* Справочник по расчету надежности радиоэлектроники и автоматики. – М.: Советское радио, 1985.
7. *Теория надежности радиоэлектронных систем в примерах и задачах.* / Под общ. редакцией Г. В. Дружинина. – М. : Энергия, 1976.

### Додаткова література

1. *Сборник задач по теории надежности.* / Под редакцией А.Н. Половко и И.М. Меликова. – М. : Сов. радио, 1972.
2. *Широков А. М.* Надежность радиоэлектронных устройств. – М.: Высшая школа, 1972.
3. *Берганов О.М.* Теоретические основы автоматики телемеханики и связи на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 1984. – 292 с.
4. *Новиков А.Б.* Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном

- транспорте. – М.: Транспорт, 1986. – 212 с.
5. *Корнейчук В.И., Макаров Т.В., Панфилов И.П.* Проектирование волоконно-оптических систем передачи: Учеб. пособие. – Одесса: ОЄИС, 1991. – 118 с.
  6. *Корнійчук В.І., Мосорін П.Д.* Волоконно-оптичні компоненти, системи передачі та мережі. – Одеса: «Друк», 2001. – 364 с.
  7. *Брескин В.А.* Проектирование цифровых систем передачи: Учеб. пособие. – Одесса: ОЄИС, 1987. – 87 с.
  8. *Семенов А.Б.* Волоконная оптика в локальных и корпоративных сетях связи. – М.: Компьютер Пресс, 1998. – 302 с.

*Навчально-методичне видання*

**Герцій Олександр Анатолійович  
Наконечна Світлана Вячеславівна  
Шевченко Ольга Вікторівна**

## **ТЕХНІЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

**Методичні вказівки**  
щодо виконання лабораторних і контрольних робіт  
та організації самостійної роботи  
для студентів спеціальності 151 «Автоматизація  
та комп'ютерно-інтегровані технології»  
денної та заочної форм навчання

Відповідальні за випуск: О.А. Герцій  
С.В. Наконечна

Редактор: Н.В. Щербак

Макет і верстка: В.О. Андрієнка

---

Підписано до друку 02.03.2017. Формат 60x84/16.  
Замовлення №35/17.

---

Підготовлено до електронного видання  
у Редакційно-видавничому відділі ДЕТУТ  
Свідоцтво про реєстрацію Серія ДК № 3079 від 27.12.2007 р.  
03049, м. Київ – 49, вул. Миколи Лукашевича, 19