

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Національний університет «Запорізька політехніка»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до практичних робіт з дисципліни

**«Математичні задачі енергетики»**

для студентів спеціальності  
141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»  
всіх форм навчання

**2024**

Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Математичні задачі енергетики» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» всіх форм навчання / Укл.: Д.О. Кулагін – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024 – 20 с.

Укладач: Д.О. Кулагін, д-р техн. наук, професор, професор кафедри ЕПП

Рецензент: П.В. Махлін, канд. техн. наук, доц., доц. кафедри ЕПП

Відповідальний за випуск: О.А. Шрам, канд. техн. наук, доц., зав. кафедри ЕПП

Затверджено  
на засіданні кафедри  
«Електропостачання  
промислових підприємств»  
Протокол № 6 від 31.01.24

Затверджено  
на засіданні НМК  
електротехнічного факультету  
Протокол № 6 від 22.02.24

**ЗМІСТ**

Загальні вимоги до виконання практичних робіт.....	4
Практична робота № 1.....	5
Практична робота № 2.....	7
Практична робота № 3.....	9
Практична робота № 4.....	11
Практична робота № 5.....	12
Практична робота № 6.....	14
Практична робота № 7.....	17
Перелік посилань.....	20

**Загальні вимоги до виконання практичних робіт.**

Варіант завдання обирається за трьома цифрами. В задачах практичної роботи даний номер позначається літерами:

а – остання цифра поточного року, в якому виконується робота (наприклад, якщо зараз на календарі 2024 р., то а=4);

б – цифра, яка залежить від номера академічної групи:

Загальний вигляд номера академічної групи	Значення б
Е(або Ез)-111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 110	0
Е(або Ез)-121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 120	1
Е(або Ез)-511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 510	2
Е(або Ез)-521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 520	3
Е(або Ез)-111сп, 112сп, 113сп, 114сп, 115сп, 116сп, 117сп, 118сп, 119сп, 110сп	4
Е(або Ез)-511сп, 512сп, 513сп, 514сп, 515сп, 516сп, 517сп, 518сп, 519сп, 510сп	5
Е(або Ез)-111_2, 112_2, 113_2, 114_2, 115_2, 116_2, 117_2, 118_2, 119_2, 110_2	6
Е(або Ез)-511_2, 512_2, 513_2, 514_2, 515_2, 516_2, 517_2, 518_2, 519_2, 510_2	7
Всі інші позначення групи, не охоплені вище, для груп Е(або Ез)-1**	8
Всі інші позначення групи, не охоплені вище, для груп Е(або Ез)-5**	9

с – остання цифра номера студента у списку групи на сайті <https://portal.zp.edu.ua/> (наприклад, якщо ваш номер у списку групи на порталі 13, то с =3).

## Практична робота № 1.

### Тема: «Рівняння усталеного режиму електроенергетичної системи»

Для заданих на рис. 1.1 схем електропостачання відповідно до вихідних даних свого варіанту, наданих в табл. 1.1, 1.2, виконати наступне:

- скласти два види схем заміщення (перша схема, на якій електростанції представити джерелами напруги, а трансформатори, лінії та навантаження – опорами; друга схема, на якій електростанції та навантаження представити у вигляді струмів завдання, а лінії та трансформатори – опорами);
- у відповідності із заданим балансуєчим вузлом скласти рівняння за законами Кірхгофа;
- скласти граф для схеми електропостачання;
- скласти всі можливі варіанти дерев для свого графа, визначити кількість та позначити на схемах вітки дерев та хорди;
- скласти першу та другу матрицю інценденцій;
- скласти узагальнене рівняння стану електроенергетичної системи, не вирішуючи його.

Таблиця 1.1 – Номер балансуєчого вузла

b=	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номер балансуєчого вузла	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Таблиця 1.2 – Номер схеми

c=	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номер схеми	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4

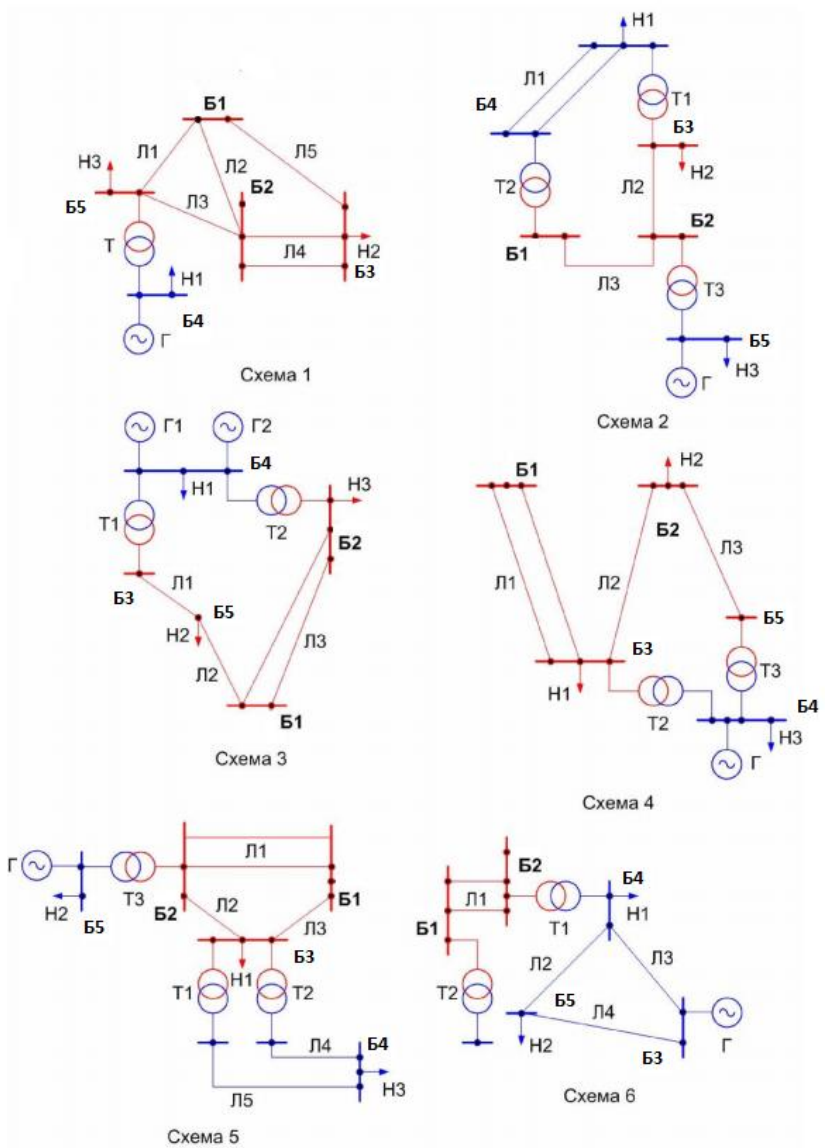


Рисунок 1.1 – Схеми електропостачання

## Практична робота № 2.

### Тема: «Використання основних понять теорії ймовірності при аналізі режимів роботи електроенергетичної системи»

Енергосистема має  $n$  агрегатів (табл. 2.1), потужністю  $P$  (табл. 2.2) кожний. Максимальне навантаження енергосистеми повністю відповідає кількості встановлених генеруючих агрегатів та їх потужності.

Таблиця 2.1 – Кількість генеруючих агрегатів в енергосистемі

$c =$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$n$	8	9	10	11	12	10	9	8	11	13

Таблиця 2.2 – Потужність одного генеруючого агрегату в енергосистемі

$b =$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P, \text{МВт}$	100	110	120	130	140	150	160	170	180	200

Ймовірність аварійного стану агрегатів однакова і наведена в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Ймовірність аварійного стану генеруючих агрегатів в енергосистемі

$a =$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$q$	0,02	0,03	0,04	0,01	0,05	0,02	0,03	0,01	0,02	0,04

Необхідно визначити оптимальну кількість додаткових агрегатів, якщо розрахункові витрати на кожний новий агрегат складають 950000 умовних одиниць (у.о.) за рік, а збиток від недовідпуску електроенергії складає 0,65 у.о./кВт·год.

Для простоти графік навантаження прийняти ступінчастим з кроком, який дорівнює потужності одного генеруючого агрегату в енергосистемі. Ймовірність навантаження системи номінальною потужністю прийняти рівною 0,04, а ймовірності навантаження іншими ступенями з кроком, який дорівнює потужності одного генеруючого агрегату в енергосистемі, у сторону зменшення приймати рівними на 0,02 більше, ніж на попередній ступені. При цьому

кількість ступенів обирається виходячи з розрахунку ймовірності втрати певної кількості агрегатів із загальної кількості (за формулою біноміального розподілу).



### Практична робота № 3.

#### Тема: «Аналіз та прогнозування випадкових процесів в електроенергетичних системах»

Нехай в електроенергетичній системі протягом 5 діб спостерігались потужності попиту, за характерні години доби, які задано в табл. 3.1 – 3.5.

Таблиця 3.1 – Величини потужностей попиту (задано в ГВт), протягом 4 години відповідних діб

a =	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 доба	5	6	4	8	5	6	6	8	6	9
2 доба	7	8	5	7	4	7	5	9	6	8
3 доба	5	5	5	6	5	8	6	8	5	8
4 доба	4	6	6	6	4	8	6	8	4	7
5 доба	6	4	4	7	4	6	7	7	6	6

Таблиця 3.2 – Величини потужностей попиту (задано в ГВт), протягом 10 години відповідних діб

c =	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 доба	13	14	12	11	10	15	12	15	12	14
2 доба	11	11	11	10	11	14	13	16	13	15
3 доба	12	15	14	11	13	15	11	17	15	16
4 доба	10	15	13	12	11	14	11	16	11	16
5 доба	13	14	12	13	10	13	12	15	12	14

Таблиця 3.3 – Величини потужностей попиту (задано в ГВт), протягом 16 години відповідних діб

b =	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 доба	9	10	9	12	9	11	8	9	12	11
2 доба	8	11	10	11	10	12	9	10	10	11
3 доба	9	11	10	12	9	11	9	10	10	10
4 доба	10	12	11	12	8	10	10	9	11	12
5 доба	8	10	10	10	9	12	8	11	12	10

Таблиця 3.4 – Величини потужностей попиту (задано в ГВт), протягом 19 години відповідних діб

b =	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 доба	18	16	18	20	19	20	23	22	24	21
2 доба	19	15	18	21	19	21	22	21	24	21
3 доба	20	16	21	22	18	22	22	23	25	20
4 доба	19	17	20	21	19	20	23	22	25	19
5 доба	20	16	19	20	20	19	24	22	25	20

Таблиця 3.5 – Величини потужностей попиту (задано в ГВт), протягом 24 години відповідних діб

c =	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 доба	9	11	8	9	12	9	10	9	12	9
2 доба	10	12	9	10	10	8	11	10	11	10
3 доба	9	11	9	10	10	9	11	10	12	9
4 доба	8	10	10	9	11	10	12	11	12	8
5 доба	9	12	8	11	12	8	10	10	10	9

Розглядаючи попит, як випадковий процес, визначити величини математичних сподівань, дисперсії, стандартних відхилень та кореляційних коефіцієнтів для вказаних перерізів процесу та на основі цих даних спрогнозувати попит у 19 годин, якщо попит о 10 годині складав 12 ГВт.

### Практична робота № 4.

#### Тема: «Використання критеріїв стійкості для аналізу роботи електроенергетичної системи»

Для електроенергетичної системи з відомим характеристичним рівнянням виду  $D(p)=\alpha_0 \cdot p^5+\alpha_1 \cdot p^4+\alpha_2 \cdot p^3+\alpha_3 \cdot p^2+\alpha_4 \cdot p+\alpha_5$ , де відповідні коефіцієнти характеристичного рівняння задані в таблицях 4.1–4.3 перевірити стійкість електроенергетичної системи наступними методами:

1. За допомогою критерію Рауса, визначивши також кількість коренів рівняння в правій півплощині.
2. За допомогою критерію Гурвиця.
3. За допомогою критерію Михайлова (в першому та другому формулюванні).

Таблиця 4.1 – Коефіцієнти характеристичного рівняння

a=	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\alpha_5$	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
$\alpha_4$	2	3	1	2	3	1	2	3	1	3

Таблиця 4.2 – Коефіцієнти характеристичного рівняння

b=	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\alpha_3$	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4
$\alpha_2$	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1

Таблиця 4.3 – Коефіцієнти характеристичного рівняння

c=	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\alpha_1$	5	4	3	5	4	3	5	4	3	5
$\alpha_0$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1

### Практична робота № 5.

#### Тема: «Дослідження процесів оптимального транспортування електроенергії від джерел живлення до споживачів»

В електроенергетичній системі є два вузла з джерелами живлення та три вузла зі споживачами електричної енергії. Потужності джерел електричної енергії  $P_{дж}$  наведено в табл. 5.1, а потужності споживачів електричної енергії  $P_{сп}$  – в табл. 5.2.

Таблиця 5.1 – Потужності джерел електричної енергії, МВт

a=	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_{дж1}$	110	100	130	120	105	115	125	135	140	145
$P_{дж2}$	90	100	70	80	95	185	75	65	60	35

Таблиця 5.2 – Потужності джерел електричної енергії, МВт

b=	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_{сп1}$	70	75	65	55	95	85	60	85	60	75
$P_{сп2}$	80	65	70	50	75	70	40	45	65	60
$P_{сп3}$	50	60	65	95	30	45	100	70	75	65

Питомі витрати  $z_{ij}$  (де  $i$  – номер вузла з джерелом живлення,  $j$  – номер вузла зі споживачем електричної енергії) на транспортування потужності між вузлами джерел живлення та споживачів електричної енергії наведено в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Питомі витрати на транспортування потужності між вузлами джерел живлення та споживачів електричної енергії, у.о./МВт

c=	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$z_{11}$	1,1	1,2	1,15	1,4	1,35	1,05	1,25	1	1,2	1,4
$z_{12}$	1,2	1,1	1,1	1,25	1,2	1,15	1,05	1,1	1,15	1,05
$z_{13}$	1,3	1,4	1,2	1,3	1,1	1,1	1,15	1,2	1,05	1
$z_{21}$	1,5	1,35	1,35	1,2	1,25	1,2	1,3	1,35	1,25	1,1
$z_{22}$	1,4	1,15	1,4	1,1	1,3	1,3	1,35	1,4	1,3	1,2
$z_{23}$	1,25	1,3	1,25	1,35	1,4	1,25	1,4	1,05	1,35	1,25

Взаємне розташування споживачів електричної енергії ( $B_1, B_2, B_3$ ) та джерел живлення ( $A_1, A_2$ ) показано на рис. 5.1. Лініями відповідно показано можливі до спорудження лінії електропередач, питомі витрати на транспортування потужності між вузлами джерел живлення та споживачів електричної енергії по яких наведено в табл. 5.3.

На рис. 5.1 величину потужності в МВт, яка передається відповідною лінією електропередачі позначено  $x_{ij}$  (де  $i$  – номер вузла з джерелом живлення,  $j$  – номер вузла зі споживачем електричної енергії)

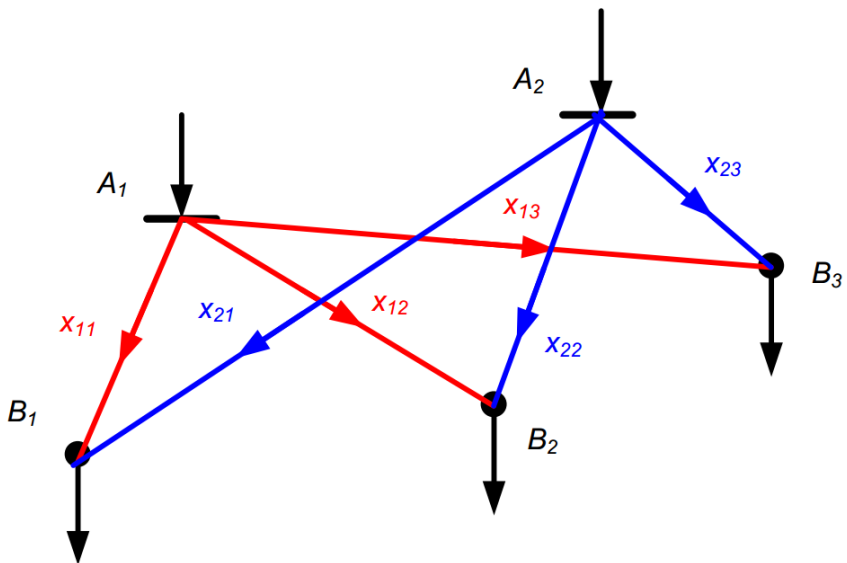


Рисунок 5.1 – Взаємне розташування споживачів електричної енергії та джерел живлення

В даній задачі потрібно скласти математичну модель для вирішення транспортної задачі з оптимального транспортування електроенергії від джерел до споживачів.

### Практична робота № 6.

#### Тема: «Дослідження випадкових процесів в цехових мережах»

Від магістрального шинопроводу напругою  $U_H$ , величину якої задано в в табл. 6.1, в цеху промислового підприємства отримують електроенергію дві ділянки. Закони розподілу ймовірностей випадкових величин – навантажень ділянок нормальні відповідно з параметрами, заданими в табл. 6.1, 6.2.

Таблиця 6.1 – Математичне сподівання  $m_p$ , кВт, та величина напруги  $U_H$ , кВ

a=	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$m_{p1}$	700	720	740	760	780	800	820	840	860	880
$m_{p2}$	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330
$U_H$	0,38	0,66	0,38	0,66	0,38	0,66	0,38	0,66	0,38	0,66

Таблиця 6.2 – Величина середньоквадратичного відхилення  $\sigma_p$ , кВт

b=	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\sigma_{p1}$	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
$\sigma_{p2}$	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120

Кореляційний зв'язок між випадковими величинами – навантаженнями ділянок характеризується коефіцієнтом кореляції  $r_{1,2}$  задано в табл. 6.3.

1. Визначити розрахункові потужності ділянок цеха, ймовірність перевищення яких  $\gamma$  задано в табл. 6.3.

2. Враховуючи, що закон розподілу ймовірностей навантаження магістрального шино проводу теж нормальний, визначити його розрахункову потужність, ймовірність перевищення якої  $\gamma$ , що задана в табл. 6.3.

3. Порівняти розрахункову потужність магістралі з сумою потужностей ділянок, для цього розрахувати коефіцієнт одночасності. Як зміниться це співвідношення якщо врахувати, що кореляційний зв'язок між навантаженнями ділянок відсутній? Також розрахувати втрати активної потужності на головній ділянці шино проводу,

активний опір якої  $R_{ш}$  задано в табл. 6.3. Коефіцієнт потужності  $\cos\varphi$  обрати за табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Інші вихідні дані

$c=$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$r_{1,2}$	0,4	0,42	0,44	0,46	0,48	0,5	0,52	0,54	0,56	0,58
$\gamma$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
$\cos\varphi$	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87
$\frac{R_{ш}}{O_M \cdot 10^{-4}}$	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42

Значення стандартної нормальної функції розподілу наведено в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Значення стандартної нормальної функції розподілу

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
-0,00	0,5000	-2,00	0,0228	1,00	0,8413	3,95	0,9999609
-0,05	0,4801	-2,10	0,0179	1,05	0,8531	4,00	0,9999683
-0,10	0,4602	-2,20	0,0139	1,10	0,8643	4,10	0,9999793
-0,15	0,4404	-2,30	0,0107	1,15	0,8749	4,20	0,9999867
-0,20	0,4207	-2,40	0,0082	1,20	0,8849	4,30	0,9999915
-0,25	0,4013	-2,50	0,0062	1,25	0,8944	4,40	0,9999946
-0,30	0,3821	-2,60	0,0047	1,30	0,9032	4,50	0,9999966
-0,35	0,3632	-2,70	0,0035	1,35	0,9115	5,00	0,9999997
-0,40	0,3446	-2,80	0,0026	1,40	0,9192		
-0,45	0,3264	-2,90	0,0019	1,45	0,9265		
-0,50	0,3085	-3,00	0,0014	1,50	0,9332		
-0,55	0,2912	-3,10	0,0010	1,55	0,9394		
-0,60	0,2743	-3,20	0,0007	1,60	0,9452		
-0,65	0,2578	-3,30	0,0005	1,65	0,9505		
-0,70	0,2420	-3,40	0,0003	1,70	0,9554		
-0,75	0,2266	-3,50	0,0002	1,75	0,9599		
-0,80	0,2119	-3,60	0,0002	1,80	0,9641		
-0,85	0,1977	-3,70	0,0001	1,85	0,9678		
-0,90	0,1841	-3,80	0,0001	1,90	0,9713		
-0,95	0,1711	-3,90	0,0000	1,95	0,9744		
-1,00	0,1587	0,00	0,5000	2,00	0,9772		
-1,05	0,1469	0,05	0,5199	2,10	0,9821		
-1,10	0,1357	0,10	0,5398	2,20	0,9861		
-1,15	0,1251	0,15	0,5596	2,30	0,9893		
-1,20	0,1151	0,20	0,5793	2,40	0,9918		
-1,25	0,1056	0,25	0,5987	2,50	0,9938		
-1,30	0,0968	0,30	0,6179	2,60	0,9953		
-1,35	0,0885	0,35	0,6368	2,70	0,9965		
-1,40	0,0808	0,40	0,6554	2,80	0,9974		
-1,45	0,0735	0,45	0,6776	2,90	0,9981		
-1,50	0,0668	0,50	0,6915	3,00	0,9986		
-1,55	0,0606	0,55	0,7088	3,10	0,9990		
-1,60	0,0548	0,60	0,7257	3,20	0,9993		
-1,65	0,0495	0,65	0,7422	3,30	0,9995		
-1,70	0,0446	0,70	0,7580	3,40	0,9997		
-1,75	0,0401	0,75	0,7734	3,50	0,9998		
-1,80	0,0359	0,80	0,7881	3,60	0,9998		
-1,85	0,0322	0,85	0,8023	3,70	0,99989		
-1,90	0,0288	0,90	0,8159	3,80	0,99993		
-1,95	0,0256	0,95	0,8289	3,90	0,99995		



### Практична робота № 7.

#### Тема: «Аналіз статистичних показників якості електричної енергії»

Статистичні дані  $n$  вимірювань випадкової величини усталених відхилень напруги  $\delta U_y$  на шинах 0,4 кВ трансформаторної підстанції зведено в інтервальний ряд розподілу, наведений в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Інтервальний ряд розподілу

Номер $i$ -го інтервалу	$\delta U_{y.i.min}, \%$	$\delta U_{y.i.max}, \%$
1	-10	-7,5
2	-7,5	-5,0
3	-5,0	-2,5
4	-2,5	0
5	0	2,5
6	2,5	5,0
7	5,0	7,5
8	7,5	10

Статистична кількість потраплянь до  $i$ -го інтервалу задана в табл.7.2, 7.3.

Таблиця 7.2 – Статистична кількість  $n_i^*$  потраплянь до  $i$ -го інтервалу (інтервали 1-4)

$c=$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 інт.	10	15	20	10	25	20	10	15	20	10
2 інт.	60	65	50	50	40	55	65	60	55	50
3 інт.	150	160	120	120	120	145	135	125	130	140
4 інт.	210	200	210	220	250	205	200	215	220	230

Таблиця 7.3 – Статистична кількість потраплянь до  $i$ -го інтервалу (інтервали 5-8)

b=	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5 інт.	230	210	240	250	270	220	250	240	260	265
6 інт.	120	140	130	150	160	145	140	135	150	155
7 інт.	90	100	80	110	115	105	120	85	105	110
8 інт.	50	70	60	80	65	80	75	60	70	60

Знайти статистичну імовірність  $p^*$  перебування величини усталеного відхилення напруги  $\delta U_y$  в інтервалі, заданому в табл. 7.4.

Таблиця 7.4 – Межі інтервалу  $\delta U_y$

a=	Межі інтервалу
0	$-10 \leq \delta U_y \leq 0$
1	$-7,5 \leq \delta U_y \leq 2,5$
2	$-5,0 \leq \delta U_y \leq 5,0$
3	$-2,5 \leq \delta U_y \leq 7,5$
4	$0 \leq \delta U_y \leq 10$
5	$-10 \leq \delta U_y \leq 0$
6	$-7,5 \leq \delta U_y \leq 2,5$
7	$-5,0 \leq \delta U_y \leq 5,0$
8	$-2,5 \leq \delta U_y \leq 7,5$
9	$0 \leq \delta U_y \leq 10$

Значення хі-квадрат розподілу наведено в табл. 7.5.

Таблиця 7.5 – Значення  $\chi^2$ -квдрат розподілуТаблиця 3. Значення  $\chi^2$  при різних  $P_{\chi^2}$  в залежності от числа степеней свободи  $\nu$ .

$\nu \setminus \alpha$	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	$\alpha / \nu$
1	0,00016	0,00628	0,00393	0,0158	0,0642	0,148	0,455	1,074	1,642	2,706	3,841	5,412	6,635	1
2	0,0201	0,0404	0,103	0,211	0,446	0,713	1,386	2,408	3,219	4,605	5,991	7,824	9,210	2
3	0,115	0,185	0,352	0,584	1,005	1,424	2,366	3,605	4,642	6,251	7,815	9,837	11,345	3
4	0,297	0,429	0,711	1,064	1,649	2,195	3,357	4,878	5,989	7,779	9,488	11,668	13,277	4
5	0,554	0,752	1,145	1,610	2,343	3,000	4,351	6,064	7,289	9,236	11,070	13,388	15,086	5
6	0,872	1,134	1,635	2,204	3,070	3,828	5,348	7,231	8,558	10,645	12,592	15,033	16,812	6
7	1,239	1,564	2,167	2,833	3,822	4,671	6,346	8,383	9,803	12,017	14,067	16,622	18,475	7
8	1,646	2,032	2,733	3,490	4,594	5,527	7,344	9,524	11,030	13,362	15,507	18,168	20,090	8
9	2,088	2,532	3,325	4,168	5,380	6,393	8,343	10,656	12,242	14,684	16,919	19,679	21,666	9
10	2,558	3,059	3,940	4,865	6,179	7,267	9,342	11,781	13,442	15,987	18,307	21,161	23,209	10
11	3,053	3,609	4,575	5,578	6,989	8,148	10,341	12,899	14,631	17,275	19,675	22,618	24,725	11
12	3,571	4,178	5,226	6,304	7,807	9,034	11,340	14,011	15,812	18,549	21,026	24,054	26,217	12
13	4,107	4,765	5,892	7,042	8,634	9,926	12,340	15,119	16,985	19,812	22,362	25,472	27,688	13
14	4,660	5,368	6,571	7,790	9,467	10,821	13,339	16,222	18,151	21,064	23,685	26,873	29,141	14
15	5,229	5,985	7,261	8,547	10,307	11,721	14,339	17,322	19,311	22,307	24,996	28,259	30,578	15
16	5,812	6,614	7,962	9,312	11,152	12,624	15,338	18,418	20,465	23,542	26,296	29,633	32,000	16
17	6,408	7,255	8,672	10,085	12,002	13,531	16,338	19,511	21,615	24,769	27,587	30,995	33,409	17
18	7,015	7,906	9,390	10,865	12,857	14,440	17,338	20,601	22,760	25,989	28,869	32,346	34,805	18
19	7,633	8,567	10,117	11,651	13,716	15,352	18,338	21,689	23,900	27,204	30,144	33,687	36,191	19
20	8,260	9,237	10,851	12,443	14,578	16,266	19,337	22,775	25,038	28,412	31,410	35,020	37,566	20
21	8,897	9,915	11,591	13,240	15,445	17,182	20,337	23,858	26,171	29,615	32,671	36,343	38,932	21
22	8,542	10,600	12,388	14,041	16,314	18,101	21,337	24,939	27,301	30,813	33,924	37,659	40,289	22
23	10,196	11,293	13,091	14,848	17,187	19,021	22,337	26,018	28,429	32,007	35,172	38,968	41,638	23
24	10,856	11,992	13,848	15,659	18,062	19,943	23,337	27,096	29,553	33,196	36,415	40,270	42,980	24
25	11,524	12,697	14,611	16,473	18,940	20,867	24,337	28,172	30,675	34,382	37,652	41,566	44,314	25
26	12,198	13,409	15,379	17,292	19,820	21,792	25,336	29,246	31,795	35,563	38,885	42,856	45,642	26
27	12,879	14,125	16,151	18,114	20,703	22,719	26,336	30,319	32,912	36,741	40,113	44,140	46,963	27
28	13,565	14,847	16,928	18,939	21,588	23,647	27,336	31,391	34,027	37,916	41,337	45,419	48,278	28
29	14,256	15,574	17,708	19,768	22,475	24,577	28,336	32,461	35,139	39,087	42,557	46,693	49,588	29
30	14,953	16,306	18,493	20,599	23,364	25,508	29,336	33,530	36,250	40,256	43,773	47,962	50,892	30

Знайти математичне сподівання та середньоквадратичне відхилення.

Чи можна вважати, що закон розподілу величини усталених відхилень напруги є нормальним?

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Математичне моделювання в електроенергетиці: Підручник / Кириленко О.В., Сегеда М.С., Буткевич О.Ф., Мазур Т.А. Львів:Вид. «Львівська політехніка», 2010. – 608 с.
2. Перхач В.С. Математичні задачі електроенергетики. – Львів, “Вища школа”, 1989.- 464 с.
3. Романюк Ю.Ф. Електричні системи та мережі (Розділ 4.5 Розрахунок режимів електричних мереж на електронно – обчислюваних машинах) – К.: Знання, 2007. – 292 с.
4. Gelfand I. M. Calculus of Variations / I. M. Gelfand, Izrail Moiseevitch Gelfand, S. V. Fomin. – Courier Dover Publications, 2000 – 232 p.