

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та  
природокористування  
Навчально-науковий інститут автоматичної, кібернетики  
та обчислювальної техніки  
Кафедра автоматизації, електротехнічних  
та комп'ютерно-інтегрованих технологій

**04-03-305М**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до самостійної роботи з навчальної дисципліни

**«ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ МАТЕРІАЛИ ТА  
КОМПЛЕКТУЮЧІ»**

для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського)  
рівня за освітньо-професійною програмою  
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»  
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-  
методичною радою з якості  
ННІАКОТ  
Протокол № 5 від 18.03.2021 р.

Рівне – 2021

Методичні вказівки до самостійної роботи з навчальної дисципліни «Електротехнічні матеріали та комплектуючі» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Давиденко Н. В. – Рівне : НУВГП, 2021. – 21 с.

Укладач:

Давиденко Н. В., кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Відповідальний за випуск: Древецький В. В., доктор технічних наук, професор, зав. кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Керівник групи забезпечення освітньо-професійної програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»: Василець С. В., доктор технічних наук, професор.

© Н. В. Давиденко, 2021

© НУВГП, 2021

## Зміст

	Стор.
ВСТУП .....	4
1. Перелік питань для поглибленого самостійного опрацювання .....	6
2. Перелік питань для самоконтролю .....	9
3. Індивідуальне завдання до самостійної роботи студентів .....	16
Рекомендована література .....	21

## Вступ

Сучасна електроенергетика використовує в елементах конструкцій широкий спектр різних електротехнічних матеріалів (ЕТМ). Від їх електромагнітних, фізико-хімічних, механічних тощо властивостей залежить надійність роботи електроенергетичного обладнання. Ефективна робота електричних машин і установок залежить від стану ізоляції, для виконання якої застосовують ЕТМ. Для правильної експлуатації ЕТМ необхідно знати їх властивості та особливості.

ЕТМ – це розділ матеріалознавства, який займається матеріалами для електроенергетики, що мають специфічні властивості, необхідні для конструювання, виробництва та експлуатації електротехнічного устаткування.

В дисципліні «Електротехнічні матеріали» розглядаються властивості матеріалів, що є основою для вивчення низки профільних дисциплін спеціальності.

Метою вивчення навчальної дисципліни є формування у здобувачів вищої освіти необхідного обсягу теоретичних знань про властивості та фізичні процеси, що протікають в ЕТМ (діелектричних, напівпровідникових, провідникових та магнітних), що використовуються в електроенергетичній галузі, основні характеристики ЕТМ, області їх застосування під час виготовлення, монтажу, експлуатації та ремонту електротехнічного і електроенергетичного обладнання, а також вироблення у студентів інженерного підходу та здатності до засвоєння та постійного оновлення професійних знань, умінь та практичних навичок їх застосування.

Щоб зрозуміти закономірності поведінки ЕТМ в різних умовах, вільно орієнтуватись в їх конструктивних та технологічних можливостях, спеціаліст у сфері електроенергетики повинен мати ґрунтовні знання щодо властивос-

тей ЕТМ. Вивчення даної дисципліни викликає у студентів певні труднощі, які пов'язані з широкою номенклатурою ЕТМ, що використовуються в електроенергетиці. Для поглиблення знань та розуміння електричних і магнітних властивостей, механічної міцності, старіння матеріалів і інших особливостей ЕТМ під час їх використання в енергетичній галузі, передбачено виконання студентами самостійної роботи. Самостійне опрацювання низки питань дозволить глибше зрозуміти особливості класифікації ЕТМ за властивостями і технічним застосуванням, фізичну сутність процесів і явищ, що відбуваються в різних ЕТМ за різних умов експлуатації, сприятиме розвитку навичок практичного застосування теоретичних знань. Отже, метою самостійної роботи студентів є додаткове вивчення основних характеристик ЕТМ, що використовуються в електроенергетичній галузі, їх властивостей і залежністю останніх від різних технологічних та експлуатаційних факторів. Студент повинен уміти користуватись науково-технічною літературою, державними та міжнародними стандартами, а також самостійно використовувати навички та вміння, одержані при вивченні дисципліни.

## **1. Перелік питань для поглибленого самостійного опрацювання**

**Тема 1.** Загальні відомості про електротехнічні матеріали

Основні поняття та визначення. Класифікація електротехнічних матеріалів. Основні типи матеріалів, що застосовуються в енергетиці та електротехніці. Роль ЕТМ для забезпечення надійної роботи електроустановок. Види зв'язку (ковалентний, іонний, металевий, молекулярний) та їх характеристика. Класифікація речовин за магнітними властивостями. Класифікація речовин за електричними властивостями.

**Тема 2.** Електрофізичні характеристики матеріалів

Основні властивості та класифікація магнітних матеріалів. Суть зонної теорії твердого тіла. Поняття магнітних доменів. Магнітна проникність, індукція та напруженість магнітного поля. Явище феромагнетизму. Явище магнітострикції. Текстуровані магнітні матеріали. Фізична суть виникнення та види магнітних втрат у магнітних матеріалах. Полярні та неполярні молекули. Основні види поляризації діелектриків. Електропровідність матеріалів. Фізична сутність процесів електропровідності в напівпровідниках, провідниках та діелектриках. Електропровідність діелектриків. Схема заміщення діелектриків. Діелектрична проникність. Діелектричні втрати. Електрична міцність матеріалів. Теплові характеристики матеріалів. Класи нагрівостійкості діелектриків. Пробій діелектриків. Старіння електроізоляційних матеріалів. Механічні характеристики матеріалів. Вологостні властивості діелектриків. Призначення магнітних матеріалів та вимоги до них. Діамагнетики та їх магнітні властивості. Парамагнетики та їх властивості. Феромагнетики та їх властивості. Антиферомагнетики та їх

властивості. Магнітом'які матеріали. Магнітні матеріали спеціалізованого призначення. Спеціальні феромагнетики, ферити, магніодіелектрики. Магнітотверді матеріали. Немагнітні чавун і сталь.

### **Тема 3. Провідникові матеріали**

Загальні відомості про провідники. Класифікація провідникових матеріалів. Основні положення теорії електропровідності. Фізичне явище електронної провідності. Фізичне явище «діркової» провідності. Класифікація провідникових матеріалів та області застосування кожної групи провідників. Питомий опір та його температурний коефіцієнт. Теплопровідності металевих провідників та її залежність від температури. Термо-ЕРС. Електропровідність газів. Електропровідність рідин. Властивості провідникових матеріалів. Матеріали високої провідності, їхні основні фізико-механічні та електричні властивості, області застосування. Провідники високого опору. Матеріали для контактів. Біметалеві провідники та контакти. Надпровідники та їх властивості. Напівпровідники та їх властивості. Електропровідність напівпровідників. Домішкові напівпровідники (акцепторні та донорні). Вплив різних зовнішніх факторів (температури, деформації, магнітного поля та ін.) на провідність напівпровідників. Напівпровідникові матеріали (германій, кремній, карбід кремнію, арсенід галію, антимонід індію та ін.).

**Тема 4. Загальна характеристика електроізоляційних матеріалів та речовин**

Класифікація електроізоляційних матеріалів. Види діелектриків. Електропровідність твердих діелектриків. Діелектрична проникність газів. Діелектрична проникність рідких діелектриків. Діелектрична проникність твердих діелектриків. Діелектрична проникність комбінованих

діелектриків. Залежність діелектричної проникності від температури і тиску. Види діелектричних втрат в електроізоляційних матеріалах. Діелектричні втрати в газах. Діелектричні втрати в рідких діелектриках. Діелектричні втрати в твердих діелектриках. Діелектричні втрати твердих речовин іонної структури. Діелектричні втрати в сегнетоелектриках. Діелектричні втрати твердих речовин неоднорідної структури. Пробій газів. Пробій рідких діелектриків. Види пробою твердих діелектриків.

### **Тема 5.** Тверді діелектричні матеріали

Види твердих діелектриків. Органічні діелектрики та їх класифікація. Основні відомості про будову і властивості полімерів. Природні смоли. Електроізоляційні лаки і компаунди. Волокнисті і текстильні матеріали. Лакотканини. Електроізоляційні пластмаси. Керамічні електроізоляційні матеріали. Шаруваті пластики і фольговані матеріали. Застосування твердих діелектриків в енергетиці. Конденсаторна кераміка. Характеристика та область застосування твердих діелектриків різних видів.

### **Тема 6.** Рідкі та газоподібні діелектричні матеріали

Загальна характеристика й застосування газоподібних діелектриків. Загальна характеристика й застосування рідких діелектриків. Лаки, компаунди. Нафтові електроізоляційні масла. Синтетичні рідкі діелектрики. Використовувані й перспективні рідкі діелектрики.



## **2. Перелік питань для самоконтролю**

1. Призначення електроматеріалознавства як науки.
2. Класифікація ЕТМ за електричними та магнітними властивостями.
3. Класифікація електротехнічних матеріалів за призначенням.
4. Основні властивості та класифікація магнітних матеріалів.
5. Суть зонної теорії твердого тіла.
6. Поняття магнітних доменів.
7. Види поляризації та їх характерна особливість.
8. Зміст явища феромагнетизму.
9. Особливості спрямування спінових магнітних моментів у феромагнетиків в феромагнетиків.
10. Процес намагнічування феромагнітних матеріалів та параметри, якими вони характеризуються в постійних та змінних полях.
11. Поняття магнітної сприйнятливості, її зв'язок з магнітною проникністю речовини та чинники, від яких залежить магнітна проникність.
12. Види втрат у феромагнітних матеріалів, фізична суть їх виникнення магнітних втрат та чинники, від яких вони залежать.
13. Магнітні характеристики для феромагнітного та неферомагнітного матеріалу.
14. Основні характеристики феромагнетиків залежно від температури та напруженості зовнішнього магнітного поля.
15. Поняття областей намагнічування та точка Кюрі.
16. Коерцитивна сила.
17. Магнітна проникність матеріалу.
18. Магнітна анізотропія та магнітострикційна деформація, їх вплив на значення початкової магнітної проникності феромагнітних матеріалів.

19. Явище магнітострижії у магнітних матеріалах та його технічне використання.

20. Класифікація магнітних матеріалів за видом петлі гістерезису.

21. Магнітні матеріали з прямокутною петлею гістерезису (ППГ), їхні властивості та області застосування.

22. Властивості магнітних матеріалів з прямокутною петлею гістерезису, які забезпечили їм широке технічне використання.

23. Діамагнетики та їх магнітні властивості, сфера застосування.

24. Парамагнетики та їх властивості, сфера застосування.

25. Феромагнетики та їх властивості, сфера застосування.

26. Антиферомагнетики та їх властивості, сфера застосування.

27. Магнітом'які матеріали, їхні властивості та області застосування.

28. Магнітодіелектрики, їхні властивості, області застосування та технологія виробництва.

29. Високочастотні магнітні матеріали, їх властивості та області застосування.

30. Класифікація магнітних матеріалів.

31. Магнітні матеріали спеціалізованого призначення.

32. Спеціальні феромагнетики, ферити, магнітодіелектрики.

33. Низько вуглецеві сталі. Їх характеристика. Сфера застосування.

34. Кремнієві леговані сталі. Їх характеристика. Сфера застосування.

35. Пермалой. Їх характеристика. Сфера застосування.

36. Пермалой, пермінвар, альсифер: їх властивості та області застосування

37. Магнітотверді матеріали. Їх характеристика. Область застосування.
38. Залізо-нікелеві сплави з високою магнітною проникністю, області їх застосування.
39. Основні властивості електротехнічної сталі, приклади маркування цієї сталі та пояснить їх призначення.
40. Явище магнітострикції та матеріалах, в яких воно виражене дуже сильно, сфера їх застосування.
41. Текстуровані магнітні матеріали, їх особливості та властивості.
42. Магнітні параметри карбонільних, альсиферових та інших магнітодіелектриків. Области їх застосування.
43. Ферити, основні властивості та області застосування магнітом'яких та магнітотвердих феритів.
44. Приклади застосування магнітотвердих матеріалів.
45. Приклади застосування магнітом'яких матеріалів.
46. Приклади застосування феромагнітних матеріалів для кіл змінного струму високої частоти.
47. Питомий електричний опір та питома електрична провідність.
48. Вплив домішок на питомий опір металів.
49. Означення температурного коефіцієнта питомого електричного опору.
50. Електропровідність газів.
51. Електропровідність рідин.
52. Електропровідність твердих діелектриків.
53. Природа електропровідності діелектриків.
54. Види електропровідності в твердих діелектриках.
55. Конденсатор та його ємність.
56. Причини втрат електроенергії в діелектрику.
57. Провідність діелектриків.
58. Види діелектричних втрат в електроізоляційних матеріалах.
59. Діелектричні втрати в газах.

60. Діелектричні втрати в рідких діелектриках.
  61. Діелектричні втрати в твердих діелектриках.
  62. Діелектричні втрати при послідовній схемі заміщення діелектриків.
  63. Діелектричні втрати при паралельній схемі заміщення діелектриків.
  64. Діелектричні втрати твердих речовин іонної структури.
  65. Діелектричні втрати в сегнетоелектриках.
  66. Діелектричні втрати твердих речовин неоднорідної структури.
  67. Механізм пробною діелектрика.
  68. Пробій газів.
  69. Пробій рідких діелектриків.
  70. Види пробною твердих діелектриків.
  71. Поняття теплового пробною електроізоляційних матеріалах.
  72. Поняття іонізаційного пробною електроізоляційних матеріалах.
  73. Поняття електрохімічного пробною електроізоляційних матеріалах.
  74. Електрична міцність діелектричних матеріалів.
  75. Класи нагрівостійкості ізоляції.
  76. Класифікація провідникових матеріалів.
  77. Природа електропровідності провідників першого та другого роду.
  78. Основні електричні параметри провідників.
  79. Природа теплопровідності металевих провідників та її залежність від температури.
  80. Термо-ЕРС та її залежність від різниці температур.
  81. Метали високої провідності. Їх характеристика.
- Область застосування.
82. Порівняльна характеристика властивостей міді та алюмінію.

83. Метали високого опору. Їх характеристика. Область застосування.
84. Сплави високого опору, їх властивості та області застосування.
85. Сплави для термопар. Їх характеристика. Область застосування.
86. Біметалеві провідники та контакти.
87. Тугоплавкі метали. Їх характеристика. Область застосування.
88. Благородні метали. Їх характеристика. Область застосування.
89. Електропровідні матеріали на основі вуглецю. Їх характеристика. Область застосування.
90. Кермети. Їх характеристика. Область застосування.
91. Означення напівпровідника. Його спільність і відмінність від провідника та діелектрика.
92. Загальні властивості напівпровідників.
93. Основні показники їх властивостей напівпровідникових матеріалів.
94. Явища в напівпровідниках.
95. Вплив домішок на провідність напівпровідників.
96. Види електричної провідності напівпровідників. Власна і домішкова провідність.
97. Напівпровідники р-типу та п-типу. Матеріали для їх виготовлення.
98. Власні напівпровідники, його основні параметри та їх залежність від температури.
99. Домішкові напівпровідники, його основні параметри та їх залежність від температури.
100. Основні фізичні властивості кремнію, германію, арсеніду галію.
101. Акцепторні домішки.
102. Донорні домішки.

103. Класифікація напівпровідникових матеріалів, характеристика кожної групи, області їх застосування.
104. Фізичне явище електронної провідності.
105. Фізичне явище «діркової» провідності.
106. Матеріали, що належать до напівпровідників.
107. Напівпровідникові хімічні сполуки і матеріали на їх основі.
108. Сегнетоелектричні матеріали, їх діелектричні параметри і область використання.
109. Суть спонтанної поляризації на прикладі метатитанату барію.
110. Температурна залежність діелектричної проникності і тангенса кута втрат для метатитанату барію і сегнетової солі.
111. Лінійні та нелінійні діелектрики.
112. Високомолекулярні органічні діелектрики.
113. Термопластичні та термореактивні полімери.
114. Характеристика діелектриків на основі каучуку та сфера їх застосування.
115. Діелектричні матеріали на основі воску та сфера їх застосування.
116. Характеристика природних смол та сфера їх застосування.
117. Характеристика синтетичних смол та сфера їх застосування.
118. Електроізоляційні лаки та сфера їх застосування.
119. Просочувальні лаки та сфера їх застосування.
120. Емалі та сфера їх застосування.
121. Застосування лаків і емалей в електроенергетиці.
122. Компаунди та сфера їх застосування.
123. Нафтові електроізоляційні масла.
124. Трансформаторне масло, його характеристика, властивості, сфера застосування
125. Волокнисті діелектрики та сфера їх застосування.

126. Лакотканина та лакопапір. Маркування. Область застосування.
127. Гетинакс. Його характеристика. Сфера застосування.
128. Текстоліт. Його характеристика. Область застосування.
129. Склотекстоліт. Його характеристика. Область застосування.
130. Мусковіт. Його характеристика. Область застосування.
131. Флогопіт. Його характеристика. Сфера застосування.
132. Міканіти, їх характеристика, сфера застосування.
133. Мікафолій та мікалекс. Їх характеристика. Область застосування.
134. Слюденіти та слюдопласти. Їх характеристика. Область застосування.
135. Плівкові діелектричні матеріали називаються.
136. Переваги і недоліки мінеральних електроізоляційних масел.
137. Керамічні діелектричні матеріали.
138. Конденсаторна кераміка. Характеристика. Область застосування.
139. Механізм пробою газоподібного діелектрика.
140. Явище пробою газів у неоднорідному полі.
141. Пробій газів на межі з твердим діелектриком.
142. Газоподібні діелектрики.
143. Характеристика рідинних діелектриків.
144. Вплив домішок на діелектричні властивості рідинного діелектрика.
145. Вимоги до трансформаторного масла.
146. Синтетичні діелектричні рідини. Їх характеристика. Область застосування.

### 3. Індивідуальне завдання до самостійної роботи студентів

Кожен студент отримує індивідуальне завдання. Варіант шифру до вихідних даних наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Варіант шифру до вихідних даних

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Шифр	01	12	23	34	45	56	67	78	89	90	02	22

#### Задача 1

У таблиці 2 для кожного варіанта задано два різні провідникові матеріали.

Таблиця 2

Номер варіанта	Найменування провідникового матеріалу	
	Варіант за передостанньою цифрою шифру	Варіант за останньою цифрою шифру
0	Кадмієва бронза	Вольфрам
1	Берилієва бронза	Молибден
2	Латунь	Електротехнічне вугілля
3	Натрій	Ртуть
4	Срібло	Олов'янокислий ніобій
5	Мідь	Свинець
6	Алюміній	Манганин
7	Альдрей	Константан
8	Залізо	Ніхром Х15Н60
9	Біметал	Фехраль Х13Ю4

Дайте визначення провідника.

Проведіть практичну класифікацію провідникових матеріалів.



Назвіть основні параметри та коротко поясніть їх фізичну суть.

Для заданих матеріалів наведіть числові значення цих параметрів.

Охарактеризуйте матеріали та їх властивості (провідність, питомий опір, міцність тощо), вкажіть основні області їх застосування.

### **Методичні вказівки до задачі 1**

Провідникові матеріали згідно з їх властивостями та областями застосування класифікують на певні групи.

Класифікація провідників може бути виконана за різними ознаками.

У відповідях навести вид класифікації відповідно до завдання.

На основі літературних джерел ознайомитися з основними властивостями провідників.

Під час характеристики конкретного провідника необхідно вказати, до якої групи він належить (за наведеною класифікацією).

### **Задача 2**

У таблиці 3 для кожного варіанта наведені напівпровідниковий матеріал та напівпровідниковий прилад.

Дайте визначення напівпровідника.

Наведіть класифікацію напівпровідникових матеріалів.

Вкажіть, від яких факторів залежить електропровідність напівпровідника.

Охарактеризуйте матеріал та його властивості, вкажіть область його застосування.

Вкажіть призначення напівпровідникового приладу, опишіть коротко принцип його дії.

Вкажіть напівпровідникові матеріали, що використовуються у даному приладі.

Таблиця 3

Номер варіанта	Найменування напівпровідникових	
	матеріалів (варіант за перестановкою цифр)	приладів (варіант за останньою цифрою шрифту)
0	Германій	Тиристор
1	Кремній	Фоторезистор
2	Селен	Терморезистор
3	Карбід кремнію	Датчик Холла
4	Германій	Варистор
5	Арсенід галію	Вентильний розрядник
6	Кремній	Сілітові стрижні
7	Закис міді	Діод
8	Антимонід індію	Транзистор
9	Кремній	Фотоелемент

### Методичні вказівки до задачі 2

Різні властивості напівпровідників обумовили широке застосування напівпровідникових приладів в електротехніці.

Напівпровідникові прилади відрізняються від інших електротехнічних простотою та надійністю конструкції, малими габаритами і вагою, великим терміном служби, а головне, високим коефіцієнтом корисної дії.

На основі літературних джерел ознайомитися з основними властивостями з класифікацією та основними властивостями напівпровідників і залежністю цих властивостей від різних зовнішніх факторів. При цьому необхідно вяснити, у чому головна відмінність напівпровідників від інших класів електротехнічних матеріалів.

Під час опису конкретного напівпровідника необхідно вказати, до якої групи напівпровідникових матеріалів він належить.

Під час опису конкретного приладу необхідно вказати, в яких електротехнічних пристроях він застосовується.

### Задача 3

В таблицях 4 задані два різні магнітні матеріали.

Таблиця 4

Номер варіанта	Найменування провідникового матеріалу	
	Варіант за передостанньою цифрою шифру (магнітом'який матеріал)	Варіант за останньою цифрою шифру (магнітотвердий матеріал)
0	Ферит 200 НН	Сплав ЮНД4
1	Електротехнічна сталь Е 44	Сплав ЮНДК15
2	Пермалой 50 НХС	Сплав ЮНДК24
3	Пермалой 79 НМ	Ферит 07БИ
4	Ферит 2000 НН	Ферит 1БИ
5	Залізо чисте (карбонільне)	Ферит 3БА
6	Залізо технічно-чисте	Вікалой 11
7	Електротехнічна сталь Е11	Мартенситна сталь ЕХ
8	Електротехнічна сталь Е330	Мартенситна сталь Е7В6
9	Альсифер	Металокерамічний (на основі сплаву магніко)

Дайте визначення магнітного матеріалу.

Дайте класифікацію магнітних матеріалів.

Назвіть основні параметри магнітних матеріалів та коротко поясніть їх фізичну суть.

Коротко опишіть самі матеріали, визначте їх місце за наведеною класифікацією.

Наведіть приблизні числові значення основних магнітних параметрів заданих матеріалів.

Назвіть основні області використання їх.

### **Методичні вказівки задачі 3**

Різні властивості магнітних матеріалів обумовили їх широке застосування в електротехніці.

На основі літературних джерел ознайомитися з класифікацією та основними властивостями магнітних матеріалів.

Під час опису конкретного магнітного матеріалу необхідно вказати, до якої групи напівпровідникових матеріалів він належить.

### **Рекомендована література**

1. Журавльова Л. В., Бондар В. М. Електроматеріалознавство : підручн. К. : Грамота, 2006. 312 с.: іл.
2. Лут М. Т., Ковтун П. М., Окушко О. В. Електротехнічні матеріали : лабораторний практикум в 2 ч. К. : АграрМедіаГруп. 2014. 142 с.
3. Коваленко О. І., Коваленко Л. Р., Мунтян В. О., Радько І. П. Електротехнічні матеріали. Мелітополь : "Люкс", 2008. 245 с.
4. Сагач М. Ф. Магнітні матеріали : навчальний посібник. К. : НАУ, 2004. 126 с.
5. Нікулін М. В. Електроматеріалознавство. К. : Вища школа, 1990. 175 с.
6. Василенко І. І., Широков В. В., Василенко Ю. І. Конструкційні та електротехнічні матеріали : навчальний посібник. Львів : Магнолія, 2008. 242 с.
7. Пасынков В. В., Сорокин В. С. Материалы электронной техники. Изд-во, „Лань”, 2002. 368 с.
8. Леонтъев В. О., Бевз С. В., Видмиш А. В. Електротехнічні матеріали : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2013. 122 с.