

**ЦЕНТР НАВЧАЛЬНО-ПРАКТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ**

**ЕЛЕКТРОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**Частина 2**

**Харків 2013**

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні методичної комісії ЦПП УкрДАЗТ 28

лютого 2012 р., протокол № 20.

Рекомендовано для слухачів Центру навчально-практичної підготовки УкрДАЗТ, які отримують робітничу професію 7241.1 «Електромонтер з ремонту та обслуговування апаратури і пристроїв зв'язку», 7241.1 «Електромонтер контактної мережі», 7241.1 «Електромонтер з ремонту та обслуговування електроустаткування», 7233.2 «Слюсар з ремонту рухомого складу».

Укладач

старш. майстер ЦНП УкрДАЗТ С.В. Савченко

Рецензент

доц. Л.І. Путятіна

ЕЛЕКТРОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

(частина 2)

Відповідальний за випуск Савченко С.В.

Редактор Решетилова В.В.

---

Підписано до друку 22.03.12 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк.1,5. Тираж 300. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,  
61050, Харків-50, майдан Фейсрбаха, 7.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

**УКРАЇНСЬКА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО  
ТРАНСПОРТУ**

**ЦЕНТР НАВЧАЛЬНО-ПРАКТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ**

**ЕЛЕКТРОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

**Методичні вказівки  
для слухачів ЦНП УКРДАЗТ  
робітничих професій «електромонтер з ремонту та  
обслуговування апаратури і пристроїв зв'язку», «електромонтер  
контактної мережі», «електромонтер з ремонту та  
обслуговування електроустаткування»,  
“слюсар з ремонту рухомого складу”**

**(частина 2)**

**2013**

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні методичної комісії ЦПП УкрДАЗТ “28 “ лютого 2012 р., протокол № 20

Рекомендовано для слухачів Центру навчально-практичної підготовки УкрДАЗТ, які отримують робітничу професію 7241.1 «Електромонтер з ремонту та обслуговування апаратури і пристроїв зв'язку», 7241.1 «Електромонтер контактної мережі», 7241.1 «Електромонтер з ремонту та обслуговування електроустаткування», 7233.2 “ Слюсар з ремонту рухомого складу”

Укладач

старш. майстер ЦНП УкрДАЗТ С.В. Савченко

Рецензент

доц. Л.І.Путятіна

## ЗМІСТ

	Вступ .....	4
1	Провідникові вироби .....	5
2	Напівпровідникові матеріали .....	18
3	Напівпровідникові вироби .....	22
	Список літератури .....	29

## ВСТУП

Рухомий склад залізничного транспорту включає до себе

локомотиви (тепловози, електровози), вагони (пасажирські, вантажні, багажні та ін.), моторвагонний рухомий склад, дрезини, автомотриси, спеціальну колійну техніку та ін. Для забезпечення нормальної та безпечної експлуатації рухомого складу необхідно постійно тримати його у справному стані. І для цього робітники, які обслуговують або ремонтують рухомий склад, повинні знати його будову та складові частини, а також матеріали, з яких виготовлені ці частини. Але ж рухомий склад складає лише частину залізниці. Нормальне функціонування залізничного транспорту забезпечується багатьма системами: мережами сигналізації та зв'язку, контактними мережами, системами електропостачання та теплопостачання, допоміжним електроустаткуванням та ін. І всі ці системи треба підтримувати у належному стані. А для цього треба знати, як ці системи працюють, з яких частин складаються, який матеріал застосовується для них, які режими праці допустимі для цих матеріалів.

Електроматеріалознавство допомагає робітникам правильно вибрати матеріал для деталі, яка підлягає заміні, та методи обробки цього матеріалу. Робітник, який володіє знанням з електроматеріалознавства, може легко вирішити питання: ремонтувати чи відновлювати деталь або міняти її.

## **1 ПРОВІДНИКОВІ ВИРОБИ**

До провідникових виробів відносять проводи (обмоточні,

встановлювальні та монтажні) і кабелі (силові, контрольні та спеціальні).

**Провід електричний** – це неізолюваний або ізолюваний провідник електричного струму, який складається з одного (одножильний провід) або декількох (багатожильний провід) дротів (найчастіше мідних, алюмінієвих або, значно рідше, сталєних). Проводи використовують при спорудженні мереж електропередач, виготовленні обмоток електричних машин, монтажі радіоапаратури, приладів зв'язку та ін.

**Кабель** – це пристрій, який призначений для каналізації електричної енергії та складається з одного або декількох ізолюваних один від одного провідників, які укладені у герметичну оболонку з резини, пластмаси, алюмінію або свинцю. Кабель, який має поверх захисної оболонки покриття (броню) із сталєних стрічок, плоского або круглого дроту (для захисту від механічних ушкоджень), називають *броньованим*. Якщо захисні або броньовані оболонки кабелю не покриті джутовим прядивом, то такий кабель називають *голим*.

Різновид проводу – **шнур**. Це провід з особливо гнучкими ізолюваними мідними жилами перерізом не більш 1,5 мм<sup>2</sup> кожна. Шнур використовують для приєднання до мережі напругою до 220 В побутових пристроїв та виробів (чайників, телевізорів, прасок та ін.). У маркуванні з'єднувальних шнурів повинна бути буква **Ш**.

Для монтажу електропроводки застосовують силові та встановлювальні проводи. Їх використовують для з'єднання електрообладнання та їх частин при прокладанні на відкритому повітрі, у трубах, у приміщеннях. Ізоляція проводів може бути резиновою або пластмасовою і розрахована на напругу 380, 660 та 3000В змінного струму.

Проводи поділяють на:

ізолювані та неізолювані;  
захищені та незахищені.

*Захищені проводи* мають поверх ізоляції зовнішню захисну оболонку у вигляді бавовняного або металевого обплетення.

Струмоведуча частина проводу – жила, яка може бути з одним

або багатьма дротами, і має стандартний переріз у міліметрах (мм).

Проводи та кабелі відрізняють також за:

- кількістю жил (від 1 до 4, у контрольних кабелів – від 4 до 61);
- перерізу (від 0,5 до 800 мм<sup>2</sup>);
- номінальною напругою, на яку розраховані жили.

## 1.1 Обмотувальні проводи

**Обмотувальні проводи** (ОП) призначені для виготовлення електричних машин, трансформаторів невеликої потужності, реле, контакторів та інших електротехнічних приладів. Вони класифікуються температурним індексом, тобто температурою, при якій емалева ізоляція проводів зберігає свої властивості протягом гарантованого ресурсу часу 20000 годин.

За матеріалом, з якого виготовлюють струмопровідні жили, обмотувальні проводи діляться на мідні (з жилами невеликого перерізу діаметром від 0,02 до 2.5 мм), алюмінієві та зі сплавів опору (манганін, константан, ніхром та ін.).

За видами ізоляції вони класифікуються таким чином: емалева, волокниста, емалево-волокниста, паперова, пластмасова, плівкова, скловолокниста, скло емалева, скляна.

Обмотувальні проводи маркуються:

- *перша буква* – П (провід);
- *друга та інші букви* – матеріал ізоляції:

**ЕЛ** – лакостійка емаль;

**ЕВ** – високоміцна емаль;

**ЕТ** – теплостійка емаль;

**Б** – бавовняне волокно (пряжа);

**Ш** – натуральний шовк;

**Л** – лавсан;

**К** – капрон;

**ШК** – штучний шовк - капрон;

**О** – один шар ізоляції;

**Д** – два шари ізоляції.



Переваги обмотувальних проводів з емалевою ізоляцією:

- а) мала товщина ізоляції (0,003-, 070 мм);
- б) мають хороші фізико-механічні та електроізоляційні характеристики;
- в) велика нагрівостійкість.

Мідні емальовані проводи марки ПЕЛ з ізоляцією на основі масляних та високоміцних синтетичних лаків (ТІ-105, 120, 130, 155, 180 та вище) мають достатньо високі електроізоляційні характеристики, які зберігаються навіть в умовах впливу підвищених температур та вологості. Їх випускають у діапазоні діаметрів 0,02 – 2,5 мм та застосовують при виготовленні котушок електричних апаратів, рамок приладів та ін.

Проводи з ізоляцією на полівінілацеталевій основі (марок ПЕВ-1, ПЕВ-2, ПЕМ-1, ПЕМ-2), крім високих механічних та електроізоляційних характеристик, мають велику стійкість до дії агресивного середовища. Тому їх використовують для виготовлення обмоток електричних машин та апаратів без додаткового покриття.

Емальовані проводи з ТІ-120 марок ПЕВТЛ-1, ПЕВТЛ-2 діаметром 0,05-1,6 мм випускають з ізоляцією на основі поліуретанового лаку. Їх особливість – це можливість обслуговування їх без попереднього зачищення емалі, що значно прискорює паяння. Такі проводи використовують у приладобудівництві та радіотехнічній промисловості.

Для забезпечення надійної роботи електрообладнання з ТІ-180 та вище використовують проводи з підвищеними механічними характеристиками, стійкістю до перевантаження струму та хладонів, високою нагрівостійкістю, достатніми електричними властивостями. Круглі проводи випускають у діапазоні діаметрів 0,50 – 2,5 мм, а прямокутні – у діапазоні перерізу від 1,6 до 11,2 мм<sup>2</sup>.

Обмотувальні проводи з поліімідною ізоляцією (марки ПЕТ-200) мають найвищу нагрівостійкість серед емальованих проводів, достатньо хороші електричні характеристики, які практично не змінюються при їх нагріванні до температури 230°C.

Проводи з *волокнистою ізоляцією* ( наприклад, марки ПБД, АПСД) на основі бавовняної пряжі, натурального шовку, а також капронових, азбестових, лавсанових та скляних волокон, як правило, виготовлюються методом двошарової обмотки струмопровідних жил. Для волокнистої ізоляції, яка має ТИ-105, характерні велика товщина ізоляції, гігроскопічність, невисока електрична міцність, що обмежує їх застосування без додаткового покриття, яким найчастіше є емаль-лаки на масляній, поліефірній та інших основах. Обмотувальні проводи з волокнистою та *емалево-волокнистою ізоляцією* (наприклад, марки ПЕТКСОТ) застосовуються для обмотки електричних машин, апаратів та приладів, які працюють у важких умовах та у тих випадках, коли при виготовленні обмоток провід зазнає підвищених механічних навантажень і нема жорстких обмежень щодо товщини ізоляції.

Основні вимоги до обмотувальних проводів з волокнистою ізоляцією:

- не повинно бути просвітів між нитками обмотки на проводі;
- не повинно бути розривів ниток при навиванні проводу на сталевий стрижень діаметром, який дорівнює п'ятикратному діаметру (але не менш 3 мм) проводу з волокнистою ізоляцією у два шари (ПБД), або при навиванні проводу в один шар (ПБО) на стрижень діаметром, який дорівнює десятикратному діаметру проводу (але не менш 6 мм).

Обмотувальні проводи з *паперовою ізоляцією* товщиною 0,10-0,12 мм відносяться до ТИ-105 і застосовуються найчастіше для виготовлення обмоток масляних трансформаторів.

Обмотувальні проводи з *пластмасовою ізоляцією* (марок ППВ, АПП, АППВ, ПГВ та ін.) відносяться до ТИ-105 і застосовуються для виготовлення обмоток зовнішніх електродвигунів, які працюють у середовищі рідини, яку перекачують при підвищених температурах та тиску.

Обмотувальні проводи з *плівковою ізоляцією* також дуже широко використовуються для зовнішніх проводів та для обмоток високовольтних електричних машин. Так, наприклад, застосовується прямокутний провід марки ППЛБО, ізоляція якого має три шари лавсанової плівки та один шар бавовняної пряжі.

Обмотувальні проводи з *скловолокнистою ізоляцією* мають дуже широке розповсюдження завдяки високій надійності, підвищеній нагрівостійкості, стійкості до перевантаження струму. Вони застосовуються для обмоток електродвигунів для кранів, морських судів, сухих трансформаторів. Такі проводи випускаються з мідними та алюмінієвими жилами як круглого, так і прямокутного перерізу.

*Склоемалева ізоляція* обмотувальних проводів у своїй основі містить окиси кремнію, свинцю та бору, що дозволяє цим проводам працювати тривало при високих температурах. Для тривалої експлуатації при температурі 400°C випускаються проводи марки ПЕЖБ, при температурі 500°C – проводи із жилою з біметалевого дроту срібло-нікель, марка ПЕЖБ-700. Найбільша нагрівостійкість обмотувальних проводів досягається застосуванням скляної та азбестової пряжі, яка підклеюється до поверхні проводів за допомогою гліфталевих та кремнійорганічних лаків, які мають підвищену стійкість до нагріву.

Обмотувальні проводи з *скляною суцільною ізоляцією* виготовляють методом витягування тонкої металевої нитки з прутка металу, який нагрітий струмом високої частоти і знаходиться у скляній трубці. Такі проводи відносяться до класу мікропроводів. Проводи з манганіною жилою (діаметром 3-10 мкм) марки ПССМ використовують найчастіше для виготовлення резисторів. Мідні проводи марки ПМС діаметром 5-200 мкм мають товщину ізоляції 1-35 мкм.

## **1.2 Установлювальні проводи**

*Установлювальні проводи та шнури* застосовують для нерухомих прокладок у силових та освітлювальних установках на відкритому повітрі і усередині приміщень. Вони призначені для розподілу електричної енергії, а також для приєднання до мережі електродвигунів, світильників та інших споживачів змінного струму напругою 380 та 660 В. Струмопровідні жили таких проводів (наприклад, марки АППВ, ПРП) виготовляють з мідного або алюмінієвого дроту. Жили ізолюють електроізоляційною гумою, поліетиленом або поліхлорвініловим пластиком. Поверх ізоляції

накладають захисне покриття у вигляді обплетення з бавовняної або шовкової пряжі. У деяких проводів захисне покриття просочують протигнильною речовиною. В окремих конструкціях проводів зовнішнє обплетення виготовлюють із сталевих оцинкованих дротів для захисту від легких механічних впливів.

Шнури випускають двожильними, тобто вони складаються з двох ізольованих та сплетених одна з одною жил перерізом не більше 1,5 мм<sup>2</sup> кожна. Для забезпечення більшої гнучкості жили шнурів та деяких типів проводів виготовлюють багатодротовими.

У марках проводів та шнурів букви позначають конструктивну частину і вид ізоляції проводу або шнура, а цифра вказує величину напруги, для якої можна застосовувати цей провід або шнур.

*Перша буква* означає матеріал жили.

**A** – алюміній. При відсутності цієї букви жила – мідна.

*Друга буква* – **П** – провід; **ПП** – провід плоский.

*Третя та наступні букви* – матеріал ізоляції та захисту:

**Р** - гума;

**В** – полівінілхлорид;

**П** – поліетилен;

**О** – ізольовані жили в обплетенні з бавовняної пряжі;

**Н** – негорюча гумова оболонка;

**Ф** – фальцьована (металева) оболонка;

**Г** – з гнучкою жилою;

**Д** – провід двожильний;

**Т** - провід з несучим тросом.

*Цифрова частина маркування* показує кількість жил та переріз кожної з них у міліметрах квадратних (мм<sup>2</sup>).

При виборі установлювальних проводів враховують умови прокладання, необхідну кількість жил, їх переріз, напругу, при якій провід буде експлуатуватись.

### **1.3 Монтажні проводи**

*Монтажні проводи* застосовують, як правило, короткими

відрізками для нерухомого прокладання при міжблочних з'єднань приладів, апаратів та інших електротехнічних та радіотехнічних пристроїв.

Для кращого розпізнавання монтажних проводів їх зовнішні ізоляційні оболонки фарбуються у різні кольори.

Монтажні проводи *загального користування* (наприклад, марки МГВЛЕ) випускають з мідними жилами перерізом від 0,05 до 2,5 мм<sup>2</sup>, які піддають лудінню для поліпшення паяння проводів до різних частин електричних апаратів та приладів, з волокнистою, пластмасовою та комбінованою ізоляцією у капронової оболонці або без неї. Вони призначені для роботи при змінному струмі напругою до 1000 В у діапазоні температур від -50° до +70°С.

*Нагрівостійкі* монтажні проводи (наприклад, марки МГТФ) виготовляють із застосуванням ізоляції зі зшитого поліетилену, кремнійорганічної гуми, фторопластів, а також комбінацій скловолокна з фторопластовою плівкою, що дозволяє використовувати їх у інтервалі температур від -60° до +250°С. Високовольтні монтажні проводи марки ПВМП-2 з поліетиленовою ізоляцією використовують при напругах 2 кВ,

2,5 та 4 кВ при температурах від -60° до +85°С. Застосовується також для таких проводів ізоляція з фторопласту-4.

## 1.4 Кабелі

*Кабелі* відрізняються від проводів тим, що жили кабелів мають герметичну оболонку із свинцю, алюмінію або пластмаси. Ізоляція кабелів виконується з гуми, пластмаси або паперових стрічок, які просочені маслосланцевою фарбою.

Кабельні вироби підрозділяються на:

- силові;
- монтажні;
- контрольні;
- управління та зв'язку.

*Силові кабелі* призначені для покладання у траншеях, спеціальних спорудах (канали, тунелі), а також всередині приміщень для передачі і розподілу електричної енергії напругою вище 1000 В

промислової частоти.

На цей час випускаються силові кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену (СПЕ), які розраховані на напругу 10 – 35 та 110 – 220 кВ. Ці кабелі, на відміну від кабелів з паперовою ізоляцією, яка просочена або наповнена маслом, мають найкращі електричні та механічні властивості та найбільш довгий строк служби серед інших кабелів, які випускаються серійно. Строк служби кабелів на напругу 110 кВ без пробою складає мінімум 50 років.

Силові кабелі маркуються буквами:

- А** – алюмінієва жила;
- АС** – алюмінієва жила та свинцева оболонка;
- АА** – алюмінієва жила та алюмінієва оболонка;
- Б** – броня із двох сталевих стрічок з антикорозійним покриттям;
- Би** – те саме, але з негорючим захисним покриттям;
- Г** – відсутність захисного покриття поверх броні або оболонки;
- К** – броня з круглих сталевих оцинкованих дротів з захисним покриттям;
- М** – маслонаповнений;
- П** – броня з оцинкованого плоского дроту з захисним покриттям;
- С** – свинцева оболонка;
- О** – окремі оболонки поверх кожної фази;
- НР** – гумова ізоляція та оболонка з гуми, яка не підтримує горіння;
- Не** – ізоляція або оболонка з самозатухаючого поліетилену;
- Шв (Ши)** – захисне покриття у вигляді шлангу (оболонки) з полівінілхлориду (поліетилену);
- Бб** – броня з профільованої сталеві стрічки;
- л(2л)** – під бронею є шари (два шари) з пластмасових стрічок;
- в (и)** – під бронею є шланг з полівінілхлориду (поліетилену);
- ц** – паперова ізоляція, яка просочена церезином;
- п** – ізоляція або оболонка з термопластичного поліетилену.

Кабелі з ізоляцією із СПЕ маркуються буквами:

- А** – алюмінієва жила;

**Пв** – ізоляція із зшитого (вулканізованого) поліетилену;  
**гж** – герметизована жила;  
**2ч** – подвійна ізоляція;  
**П** – оболонка з поліетилену;  
**В** – оболонка з полівінілхлоридного пластикату;  
**Внг** – оболонка з ПВХ пластикату зниженої горючості;  
**ч** – (після позначення оболонки) подовжня герметизація стрічками, що блокують воду;

**Пу** – зміцнена оболонка з поліетилену: для напруги до 10 кВ збільшеної товщини; для напруги до 110 кВ з ребрами жорсткості.

Приклад позначення кабелю:

АПвП 1х120(гж)/35-10, де цифрами позначено:

1 – кількість жил;  
120 – переріз жили, мм<sup>2</sup>;  
35 – переріз екрана, мм<sup>2</sup>;  
10 – номінальна напруга, кВ.

Силові кабелі поділяються на кабелі низької та високої напруги.

Силові кабелі низької напруги з паперовою просоченою ізоляцією поділяються на кабелі з поясною ізоляцією (до 10кВ) та з жилами, які покриті свинцем (20 і 35 кВ). Кабелі з поясною ізоляцією мають три секторні жили з міді або алюмінію у діапазоні перерізу 6-240 мм<sup>2</sup>.

Силовий електричний кабель загального застосування складається з струмоведучих жил, які мають паперову ізоляцію, що просочена маслосланціфольною речовиною, заповнювачів з джгутів сульфатного паперу, які прокладені проміж жил, поясної паперової ізоляції, герметизуючої оболонки із свинцю або алюмінію, двошарової бітумної суміші, між шарами якої прокладена кабельна пряжа, що просочена протигнільною речовиною. Кабелі покриті бронєю із сталевих стрічок. У деяких марок кабелів броня зроблена з плоских або круглих сталевих оцинкованих дротів, які покриті бітумним складом, далі на броню наноситься кабельне покриття із просоченого джуту, поверх якого наноситься шар крейди.

Недоліком силових кабелів з просоченою паперовою ізоляцією

є обмеження при прокладанні на місцевості з великим перепадом висот, тому що у цьому випадку суміш, що просочує паперову ізоляцію, повільно стікає у нижню частину траси, що приводить до підвищення тиску у кабелі і може викликати пошкодження оболонки. У той же час верхня частина кабелю втрачає значну частину суміші, що просочує, а це приводить до зменшення електричної міцності кабелю.

У місцевостях з великим перепадом висот застосовується кабель марки ЦСБ, у якого паперова ізоляція просочується нестікаючою сумішшю на основі синтетичного церезину, який має велику в'язкість при робочій температурі кабелю, хорошій адгезії до жили і достатньо високі електроізоляційні властивості, що дозволяє використовувати такий кабель в мережах з напругою до 10 кВ.

За видом ізоляції і оболонки розрізняють такі силові кабелі:

- з просоченою паперовою ізоляцією у металевій оболонці;
- з паперовою ізоляцією, що просочена не стікаючою речовиною, у металевій оболонці;
- з пластмасовою ізоляцією у пластмасовій або металевій оболонці;
- з гумовою ізоляцією у пластмасовій, гумовій або металевій оболонці.

Кабелі з окремими жилами, які покриті свинцем, перерізом 120-150 мм<sup>2</sup>, зберігають достатню гнучкість, мають меншу кількість речовини, що просочує, мають кращі умови для тепловідведення. Недолік їх – велика маса та підвищена витрата металу для оболонок.

Кабелі у свинцевому та алюмінієвому виконанні бувають або одножильними, або трижильними, які ізолювані паперовою просоченою жильною ізоляцією, кожна з яких має свинцеву оболонку, що дозволяє утворити у кабелі радіальне електричне поле (марки: ОСБ, ОСК, АОСБ, АОСБГ, АОСК).

Силові кабелі з гумовою ізоляцією призначені в основному для нерухомого прокладання з малими радіусами згину в мережах змінної напруги 660 В або постійної напруги 1, 3, 6 та 10 кВ. Такі кабелі можуть мати мідні або алюмінієві струмопровідні жили, як круглої, так і секторної форми, які ізолювані ізоляційною гумою. Поверх ізолюваних жил або сердечника кабелю накладається



оболонка зі свинцю, полівінілхлоридного пластикату або шлангової гуми, а зверху для зміцнення ізоляції наноситься покриття із сталевих стрічок, які захищені антикорозійним покриттям. Основні марки таких кабелів: СРГ, АСРГ, СРБГ, НРБГ та ін.

Силові кабелі з пластмасовою ізоляцією призначені для нерухомого прокладання у електричних мережах змінної напруги 1 – 35 кВ. Це найбільш перспективний тип кабелю, такі кабелі достатньо прості у виготовленні, зручні при монтажі та експлуатації. Вони виготовлюються в одно- та багатожильному виконанні з мідними та алюмінієвими струмопровідними жилами круглої або секторної форми у діапазоні перерізу 1,5 – 240 мм<sup>2</sup>.

Для кабелю на напругу 1 – 10 кВ може застосовуватись як поліетиленова, так і полівінілхлоридна ізоляція. Кабелі на напругу 35 кВ мають тільки поліетиленову ізоляцію, яка забезпечує більш високі електроізоляційні характеристики (марки таких кабелів: ВВГ, ПвВГ, АПСВГ, АВБШв, ВБШв, ПвАШв та ін.).

На напругу 110 – 220 кВ виготовлюють, як правило, кабелі низького тиску. Ці кабелі мають тільки мідні, з лудінням, жили перерізом 120 – 800 мм, поверх яких накладається паперова ізоляція, яка просочена малов'язким мінеральним маслом. При великій товщині ізоляції (для кабелю на напругу 200 кВ) іноді роблять допоміжні канали під оболонкою кабелю. Свинцева оболонка завжди посилюється двома мідними стрічками, які накладаються з різним кроком, а алюмінієва оболонка покривається більш вологостійким покриттям у вигляді шланга з полівінілхлоридного пластика. Для надання кабелю з алюмінієвою оболонкою більшої гнучкості іноді застосовують гофрування оболонки.

Маркування силових кабелів низького тиску включає такі буквені позначення:

**М** - наповнений маслом;

**Н** – низького тиску;

**С** – свинцева оболонка;

**А** – алюмінієва оболонка;

**Аг** – гофрована алюмінієва оболонка;

**Шв** – шланг з полівінілхлоридного пластикату;

**Шву** – те саме, але із зміцненим захисним шаром під шлангом;

**К** – броня з круглого сталевого оцинкованого дроту;

**А** – захисне покриття із шарів бітумної речовини, лавсанових або гумових стрічок та просоченої кабельної пряжі.

Кабелі високого тиску (наповнені маслом) експлуатуються в сталевих трубопроводах з розрахунку на змінну напругу 110, 220, 500 кВ. Вони випускаються двох марок: МВДТ та МВДТк. Конструкція кабелю має три фази, зтягнуті у сталевий трубопровід, який заповнюється маслом під тиском 1,5 МПа. Кожна фаза – це жила, яка скручена із мідного дроту, що пройшов лудіння, та ізольована просоченим кабельним папером з високою електричною міцністю. При прокладанні кабелю в землі сталевий трубопровід захищається від корозії покриттям, яке складається із шарів тугоплавкого бітуму з каоліном та гідроізолітом. Якщо кабель прокладається у блоках, то зовнішнє антикорозійне покриття має тільки шар бітумного лаку товщиною 0,1 – 0,25 мм.

*Контрольні кабелі* призначені для прокладання у приміщеннях, на пересувних електроустановках при передачі низьковольтних сигналів управління у ланках вторинної комунікації, для приєднання електричних приладів та апаратів у електричних розподільних пристроях зі змінною напругою до 660 В частотою до 100 Гц або постійною напругою до 1000 В при температурі навколишнього середовища від -50 до +50°C. Їх можна прокладати і на відкритому повітрі за умови їх захисту від механічних пошкоджень та впливу прямого сонячного проміння. Такі кабелі виготовлюються з однодротовими мідними і алюмінієвими жилами перерізом 0,75–6 мм<sup>2</sup> для мідних жил та 2,5–10 мм<sup>2</sup> для алюмінієвих, число яких може бути від 4 до 61. Матеріалом для ізоляції струмоведучих жил цих кабелів можуть бути гуми з нормальною та підвищеною нагрівостійкістю, а також пластмаси (поліетилен, самозатухаючий поліетилен, полівінілхлоридний пластикат, фторопласт).

Система маркування контрольних кабелів практично не відрізняється від системи маркування силових кабелів низької напруги. Відмінність полягає в тому, що марка контрольного кабелю на першому місці включає букву **К**, якщо кабель має мідні жили, та букви **АК**, якщо жили алюмінієві.

*Спеціальні кабелі* (гнучкі, високої напруги) призначені для установок електрозварювання, радіоустановок, обладнання

аеродромів. На цей час використовуються волоконно-оптичні лінії (ВОЛС), найважливішим елементом яких є волоконно-оптичні кабелі (ВОК). Вузкий світловий лазерний промінь, який модулюється належним чином, може розповсюджуватись на велику відстань та передавати великий обсяг інформації. Використання його для передачі у атмосфері може бути обтяжливим через великі втрати світлової енергії, через поглинання та розсіяння, які обумовлені забрудненням середовища, яке передає. Завдяки розвитку виробництва оптично чистого скла та скляних ниток з'явилась можливість передавати світлову енергію по ВОК, основним елементом якого є оптичне волокно (ОВ). Як матеріал для ОВ використовують скло на основі чистого кварцу. Оптичне волокно має центральну частину (сердечник) та зовнішню оболонку, яка відбиває світло. Направлене розповсюдження світлового потоку проходить за рахунок повного внутрішнього відбиття світлових променів від межі «сердечник – оболонка». Діаметр сердечника не перевищує 50 мкм, оболонки – 100 – 150 мкм. Така скляна нитка потребує зміцнення та захисту від зовнішніх впливів, тому поверх оболонки ОВ має захисне полімерне покриття. Переваги ВОК: властивість широкої смуги (по одному ОВ можна передати частоту 1-3 ГГц; забезпечує передачу великого обсягу інформації, яка захищена від зовнішніх магнітних полів, передає секретну інформацію (випромінювання у довколишньому просторі відсутнє). Також ВОК має малі габарити та масу, не містить в собі дефіцитних металів.

Кабельна лінія служить для передачі електроенергії або окремих її імпульсів і складається з одного або декількох кабелів з кінцевими та з'єднувальними муфтами.

## **2 НАПІВПРОВІДНИКОВІ МАТЕРІАЛИ**

Напівпровідники займають проміжне місце за електричною провідністю між металевими провідниками та діелектриками.

За хімічною природою їх можна поділити на чотири головні групи:

а) кристалічні напівпровідникові матеріали, які побудовані з атомів та молекул одного елемента;

б) окисні кристалічні напівпровідникові матеріали, тобто матеріали з окислів металів;

в) кристалічні напівпровідникові матеріали на основі з'єднань атомів третьої і п'ятої груп системи елементів таблиці Менделєєва;

г) кристалічні напівпровідникові матеріали на основі з'єднань сірки, селену, міді, свинцю (сульфіди, селеніди).

Від металів напівпровідники відрізняються тим, що у напівпровідників вільних електронів небагато, тому що валентні електрони у них зв'язані зі своїми атомами. Струм у напівпровідниках може виникнути та мінятися у широких межах тільки під впливом зовнішніх дій: нагріву, опромінення або при введенні деяких домішок. Це збільшує енергію валентних електронів, дозволяє їм відриватися від своїх атомів і становитися носієм струму. Чим більше зовнішній вплив на напівпровідник, тим більше у ньому вільних електронів і тим більший у ньому протікає струм.

Місце на зовнішній оболонці атома, яке залишене електроном, називають *діркою (вакансією)*. Якщо до напівпровідника прикласти електричну напругу, то електрони будуть переміщатися від одного атома до другого в одному напрямку, а дірки – у іншому. Дірку прийнято вважати позитивно зарядженою частиною із зарядом, який дорівнює заряду електрона. Таке переміщення дірки називають *дірочним струмом*. У чистому напівпровіднику концентрація електронів і дірок однакова і електропровідність такого напівпровідника називають *власною*.

Для виготовлення напівпровідникових приладів (наприклад, діодів) потрібні напівпровідникові матеріали, які мають переважно електронну або діркову електропровідність. Для одержання таких матеріалів у ретельно очищений напівпровідник вводять відповідні легуючі домішки.

Легуючі домішки, які мають валентність більшу, ніж валентність у напівпровідника, сприяють виникненню вільних електронів. Їх називають *донорами*. Домішки, які мають валентність меншу, ніж валентність напівпровідника, захоплюють та утримують вільні електрони, що сприяє виникненню нових дірок. Такі домішки називають *акцепторами*.

Напівпровідник, який легований донором, називають *електронним, або n-типу*. Напівпровідник, який легований акцептором, називають *дірочним, або p-типу*.

При температурі абсолютного нуля ( $-273^{\circ}\text{C}$ ) напівпровідник становиться діелектриком.

Характерна властивість напівпровідників – нелінійна залежність їх струму від напруги, що до них прикладається, тобто струм зростає значно швидше, ніж напруга. Разом з цим різко зменшується електричний опір напівпровідника.

Як напівпровідникові матеріали в електротехніці використовуються найчастіше кремній, карбід кремнію, германій, селен.

**Кремній Si** – елемент четвертої групи таблиці Менделєєва. Початковий матеріал для виготовлення технічних сортів кремнію – глинозем  $\text{SiO}_2$ , який широко розповсюджений у природі. У результаті очищення зливків кремнію методом зонного плавлення отримують монокристалічний кремній з домішками не більше  $10^{-11}\%$ . Кремній – матеріал крихкий, температура плавлення  $1415^{\circ}\text{C}$ . Зразки полірованого кремнію мають колір сталі. Верхня межа робочої температури приладів на основі кремнію –  $150\text{-}200^{\circ}\text{C}$ . У залежності від легування отримують кремній n-типу ( $\rho=0,05\text{-}12\text{Ом}\cdot\text{м}$ ), який маркується КМЕ-2 (електронний), або p-типу ( $\rho=0,06\text{-}600\text{Ом}\cdot\text{м}$ ), який маркується КМ-2 (дірковий). Донорами для кремнію є елементи V групи таблиці Менделєєва – сурма, фосфор, миш'як, вісмут. Акцепторами є елементи III групи періодичної системи – галій, бор, талій, алюміній. Кремній використовують при виготовленні інтегральних мікросхем.

**Карбід кремнію SiC** відноситься до першої групи напівпровідникових матеріалів, є найбільш розповсюдженим

монокристалічним матеріалом. Цей матеріал складається із суміші багатьох маленьких кристаликів, які хаотично спаяні один з іншим. Початковий матеріал – кокс та чистий кварцовий пісок. Для одержання електропровідності того чи іншого типу у шихту додають різні сумішки: фосфор, сурму, вісмут, магній, алюміній та ін. Реакція утворення карбіду кремнію ведеться при кінцевій температурі близько 2000°C.

Карбід кремнію, який легований фосфором, сурмою або вісмутом, має темно-зелений колір, електропровідність його n-типу.

Карбід кремнію, який легований галієм, алюмінієм або бором, має темно-фіолетовий колір та електропровідність p-типу.

Карбід кремнію – матеріал крихкий, температура плавлення - 2700°C,  $\rho=10^2-10^5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ . Він є домішковим напівпровідником, але при температурі 1400°C у нього з'являється власна електропровідність.

Найбільш чисті сорти карбіду кремнію використовують при виробництві варисторів-резисторів, які працюють при температурах від -50 до +80°C. Варистори використовують у приладах автоматичного регулювання. Із полікристалічного карбіду кремнію методом сублімації у інертнім газі отримують монокристали карбіду кремнію, які мають високу хімічну чистоту. Їх використовують для виробництва діодів та транзисторів на робочі температури до 700°C, а також для виробництва світлодіодів.

**Германій Ge** елемент четвертої групи таблиці Менделєєва. Початковий матеріал – цинкові та сульфідні руди. В результаті складних хімічних процесів отримують зливок германію, який містить багато домішків та не є монокристалом. Цей зливок методом зонної плавки звільняють від домішків не більше ніж до  $5\cdot 10^{-9}\%$ . Потім його розплавляють у вакуумі або у середовищі інертного газу. У розплав додають донорську (для n-типу напівпровідника) або акцепторну (для p-типу напівпровідника) домішку та з визначеною швидкістю із розплаву витягують чистий монокристалічний германій у вигляді суцільного циліндра заданого діаметра.

Германій має яскраво-сріблястий колір. Температура плавлення – 958,5°C. Всі сорти германію мають велику твердість, крихкість, легко звожуються. У германію n-типу  $\rho=0,07-0,5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , у германію p-типу  $\rho=0,01-0,45 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ . Донорами для германію є

елементи V групи періодичної системи Менделєєва – сурма, фосфор, вісмут, миш'як. Акцептори – галій, бор, талій, алюміній.

Германій широко застосовується для виготовлення діодів та фотоелементів.

**Селен Se** – елемент шостої групи таблиці Менделєєва. Початковий матеріал – залишки, які утворюються при електролітичному рафінуванні міді. Твердий селен може мати аморфну або кристалічну будову.

Чорний аморфний селен отримують швидким охолодженням розплаву чистого селену до кімнатної температури. Його  $\rho=10^{11}$  Ом·м, температура плавлення  $220^{\circ}\text{C}$ .

Сірий кристалічний селен отримують повільним охолодженням розплаву аморфного селену до кімнатної температури. Такий селен є напівпровідником р-типу ( $\rho=10^3$  Ом·м) та має полікристалічну структуру. Температура плавлення  $217^{\circ}\text{C}$ , інтервал робочих температур у випрямлячах від  $-60$  до  $+75^{\circ}\text{C}$ .

Селен застосовують для виготовлення селенових випрямлячів, фотоелементів та фоторезисторів.

Разом з елементарними напівпровідниками широке застосування мають напівпровідникові з'єднання, які одержують шляхом сплавлення або хімічною обробкою чистих елементів. Це закис міді  $\text{Cu}_2\text{O}$ , з якого виготовляють напівпровідникові випрямлячі різних типів, сурм'янистий цинк  $\text{SbZn}$ , який використовують для виготовлення напівпровідникових термобатарей, телуристий свинець  $\text{PbTe}$ , який знайшов застосування при виготовленні фотоелектричних приладів та ін.

Особливий інтерес мають з'єднання типу АІІВV, які одержують методом синтезу елементів III та V груп періодичної системи елементів Менделєєва –  $\text{AlP}$ ,  $\text{AlAs}$ ,  $\text{AlSb}$ ,  $\text{GaP}$ ,  $\text{GaAs}$ ,  $\text{GaSb}$ ,  $\text{InP}$ ,  $\text{InAs}$ ,  $\text{InSb}$ . За рядом властивостей ці з'єднання близькі до германію та кремнію.

### **3 НАПІВПРОВІДНИКОВІ ВИРОБИ**

Напівпровідникові вироби – діоди, транзистори, тиристори широко застосовуються у техніці. Їх можна зустрінути і в радіоприймачах, і у квантовому генераторі, у невеликій атомній батареї і у мікропроцесорах. Вони перетворюють світлову та теплову енергію в електричну і, навпаки, за допомогою електроенергії можна отримати тепло чи холод. Заміна лампової апаратури на напівпровідникову дозволила у десятки разів зменшити масу та габарити обладнання різного призначення. Напівпровідникові прилади мають й інші переваги перед електронними: відсутність витрати енергії на розжарення, більший термін служби, більша механічна міцність, мають високий ККД, малопотужні пристрої можуть працювати при дуже низьких питомих напругах. Але ці прилади мають і деякі недоліки. Так, наприклад, їх властивості дуже сильно залежать від температури, їх робота під впливом радіоактивного випромінювання різко погіршується.

Характерна властивість напівпровідників – нелінійна залежність їх струму від напруги, що до них прикладається, тобто струм зростає значно швидше, ніж напруга. Разом з цим різко зменшується їх електричний опір.

Ця властивість використовується у вентилях напівпровідникових розрядниках, які застосовуються для захисту ліній електропередач від удару блискавки. При нормальній напрузі розрядник має дуже великий опір і не пропускає струм з лінії електропередачі на землю. При ударі блискавки проводи знаходяться під великою напругою. Електричний опір вентиля розрядника різко зменшується і він відводить великий струм з лінії на землю. У результаті напруга лінії електропередачі знижується до нормальної, опір розрядника відновлюється і він знову не пропускає струм з лінії на землю.

**Діоди** використовуються для випрямлення змінного струму та для інших нелінійних перетворень електричних сигналів. Коли діод починає проводити струм, на ньому з'являється падіння напруги, яке дорівнює потенціальному бар'єру і називається прямим падінням напруги. Діод проводить струм тільки тоді, коли величина зовнішньої напруги більше потенціального бар'єра. Для германієвого діода мінімальна зовнішня напруга дорівнює 0,3 В, а для кремнієвого – 0,7 В. Усі діоди мають малий зворотний струм. У германієвих діодах він вимірюється у мікроамперах, а у кремнієвих – у наноамперах. Германієвий діод має більший



зворотний струм, тому що він більш чутливий до температури. Цей недолік германієвих діодів компенсується невисоким потенціальним бар'єром.

Як германієві, так і кремнієві діоди можуть бути пошкоджені сильним нагрівом або високим зворотним струмом. Виробники вказують максимальний прямий струм, який може безпечно протікати через діод, а також максимальну зворотну напругу (пікову зворотну напругу). При перевищенні пікової зворотної напруги через діод піде великий зворотний струм, який приведе до надлишкового нагріву і виведе діод із ладу.

Діоди розподіляються на випрямні діоди малої, середньої та великої потужності, імпульсні діоди та напівпровідникові стабілітрони.

До *випрямних діодів малої потужності* відносяться діоди на прямий струм до 300 мА. Максимальна зворотна напруга цих діодів лежить у діапазоні від десятків до 1200 В.

До *випрямних діодів середньої потужності* відносяться діоди на прямий струм від 300 мА до 10 А. Такі діоди випускаються переважно кремнієвими. При цьому теплоту, яка виділяється у кристалі від протікання прямого та зворотного струмів у такому діоді, треба відводити примусово.

До *потужних (силових) діодів* відносять діоди на струми від 10 А та вище. Промисловість випускає силові діоди на струми 10, 16, 25, 40 А і т.д. та зворотні напруги до 3500 В. Такі діоди мають градацію за частотою з діапазоном до десятків кілогерц. Виготовлюються вони переважно з кремнію. Пластина з кремнію, яка створюється дифузійним методом, має вигляд диска діаметром 10 – 100 мм та товщиною 0,3 – 0,6 мм.

*Стабілітрони* – це спеціальні діоди, які призначені для роботи при напругах, які перебільшують напругу пробою діода. Пробій діода виникає при високій зворотній напрузі, яка прикладена до діода та викликає сильний зворотний струм що веде до перегріву діода. Напруга пробою вказується виробником з точністю від 1 до 20 %. Також вказується коефіцієнт відхилення для визначення розсіяння потужності при інших температурах. Наприклад, коефіцієнт відхилення 6 міліват на градус Цельсія означає, що потужність, яка розсіюється діодом, зменшується на 6 міліват при підвищенні температури на один градус.

Малопотужні стабілітрони випускають у корпусах зі скла або епоксидної смоли, а потужні – у металевому корпусі з гвинтом.

Стабілітрони використовують для стабілізації напруги, наприклад, для компенсації зміни напруги лінії живлення або зміни резистивного навантаження під постійним струмом.

*Світлодіоди* – це напівпровідниковий прилад, який випромінює світло при проходженні через нього електричного струму. Їх використовують у сигнальних лампах, освітлювальних приладах (ліхтарі, світлофори, фари) як індикатори, у панелях приладів автомобілів, у цифрових або інших табло. Світлодіод має хорошу механічну міцність, мало нагрівається, термін його служби може досягати 100 тисяч годин (майже у 100 разів більше, ніж у лампі розжарювання, та у 5 – 10 разів більше, ніж у люмінесцентній лампі). Надійність та безпечність світлодіодів вище, ніж у ламп розжарювання. Звичайні світлодіоди, які використовують для індикації, споживають від 2 до 4 В постійної напруги при струмі до 50 мА, а для освітлення – при тій же напрузі струм вище (від декілька сотень міліампер (мА) до 1 А). У світлодіодному модулі сумарна напруга може бути 12 або 24 В. Напруга пробою для одного діоду вказується виробником і буває більше 5 В. Випромінювання проходить у тілесному куті від 4 до 140 градусів.

Світлодіоди на основі фосфіду та арсеніду галію випромінюють у жовто-зеленій, жовтій та червоній областях спектру. Блакитний світлодіод виготовляють методом легування нітриду галію магнієм та свинцем. Така ж методика застосовується і для виготовлення зелених світлодіодів. Біле світло можна отримати трьома способами. Перший – змішування кольорів за технологією RGB. На одній матриці розташовують червоні, блакитні та зелені світлодіоди, їх випромінювання змішується за допомогою оптичної системи, наприклад, лінзи. Другий спосіб – на поверхню світлодіода, який випромінює в ультрафіолетовому діапазоні, наноситься три люмінофори, які випромінюють блакитне, зелене та червоне світло. Третій спосіб – на блакитний світлодіод наносяться жовто-зелений або зелений плюс червоний люмінофор, тоді два або три випромінювання змішуються і утворюють біле або подібне до білого світло.

Діоди можна перевірити шляхом вимірювання за допомогою омметра прямого та зворотного опору. Величина цих опорів

характеризує здатність діода пропускати струм в одному напрямку і не пропускати струм у другому.

Германієвий діод має низький прямий опір (близько 100 Ом), а його зворотний опір перебільшує 100000 Ом. Прямі та зворотні опори кремнієвих діодів вище, ніж германієвих. Перевірка діодів за допомогою омметра повинна показати низький прямий опір та високий зворотний опір.

Якщо опір діода низький у прямому та зворотному напрямку, то діод, мабуть, закорочено. Якщо діод має високий опір і у прямому, і у зворотному напрямку, то у ньому, можливо, перерваний ланцюг.

**Транзистор** або напівпровідниковий тріод застосовується у схемах посилення та у імпульсних схемах як управляючий елемент. Його переваги: відсутність розжарення, малі габарити та вартість, висока надійність.

*Біполярний транзистор* – це тришарова напівпровідникова структура з типом електропровідності шарів, який чергується. Він має два р-п переходи. В залежності від чергування шарів існують транзистори типів р-п-р та п-р-п.

Середній шар називають базою, один із зовнішніх шарів – емітер, другий – колектор. Так само називають і зовнішні виводи від цих шарів.

Як початковий матеріал для одержання тришарової структури використовують германій та кремній.

**Термістор** або тепловий опір використовують як термометр для заміру температури навколишнього середовища. За допомогою термісторів можна підтримувати температуру у приміщенні на потрібному рівні, вони можуть виконувати функції обмежувачів часу для автоматичного ввімкнення або вимкнення систем освітлення або діючих установок. Час регулювання термісторів може бути від часток секунди до 10 хвилин. Вони працюють при температурах до 300°C.

Термістори застосовують як регулятори температури, температурні компенсатори, у приладах для вимірювання витoku газу, для дистанційного вимірювання вологості, для вимірювання високих тисків, механічних напружень, швидкості або кількості рідини, що протікає, швидкості руху газів, для вимірювання великих

прискорювань. Виготовлюють їх методом пресування з наступним спіканням у тверду компакту масу, а також шляхом плавлення напівпровідника для надання йому потрібної форми та розмірів у вигляді кульок, стрижнів, дисків, шайб та лусків.

Наша промисловість випускає різні типи термісторів, серед яких найбільш поширені: ММТ-1, ММТ-4, КМТ-1, КМТ-4, ММТ-8 та ММТ-9. У цих марках букви – це умовне позначення матеріалу термістора, а цифри – його конструктивне оформлення. Перші з чотирьох марок застосовують для вимірювання та регулювання температури; як «реле» часу; для дистанційного вимірювання вологості повітря; для заміру малих швидкостей руху та теплопровідності газів, рідини та для інших цілей.

Як змінні опори без контактів, що ковзають, у різних автоматичних схемах слабкого струму використовують термістори з побічним підігрівом, які позначаються ТКП-300, ТКП-20, де цифри указують електроопір напівпровідника в омах при номінальній потужності, яка розсіюється у обмотці, яка підігрівається.

**Тиристори** широко використовуються при управлінні потужністю постійного та змінного струму. Вони застосовуються для ввімкнення та вимкнення потужності, яка подається на навантаження, а також для врегулювання її величини, наприклад, для управління освітлюванням або швидкістю обертання двигуна. Тиристори володіють двома стійкими станами і мають три або більше р-п переходи. Вони виготовлюються з кремнію і складаються з чотирьох напівпровідникових шарів р-типу та n-типу, які розташовані по чергово. При цьому утворюються три р-п-переходи. Два крайніх виводи – це анод і катод. До одного із середніх шарів може бути підключено електрод, який управляє. Якщо такого електрода нема, то тиристор управляється, тобто відчиняється або зачиняється, шляхом зміни напруги, яка до нього прикладається. Такі тиристори називаються *диністорами*. Диністори мають суттєвий недолік: їх відчинення та зачинення відбувається лише при великих змінах зовнішнього струму та напруги. Значно частіше використовуються тиристори, які мають електрод, що управляє.

**Фотоопори** широко застосовують для сигналізації та автоматики, управління на відстані виробничими процесами, сортування деталей. За їх допомогою попереджують нещасні випадки та аварії при порушенні ходу технологічного процесу

шляхом автоматичної зупинки машини.

Фотоелектричний пристрій приходить у дію при появі або зникненні променів на фотоопорі або при різкій зміні їх інтенсивності, наприклад, при настанні темряви, появі полум'я, перериванні променю.

Підбирають фотоопори у залежності від умов опромінювання, у яких їм доводиться працювати. Найчастіше використовують для фотоопорів у видимій частині спектра сірчаний кадмій, сірчаний талій, сірчаний вісмут. а для інфрачервоної частини спектра – сірчаний, селенистий та телуристий свинець. У таких напівпровідників зв'язок між електронами та атомами настільки незначний, що променистої енергії світла достатньо для переведення електронів у вільний стан. При цьому незначно підвищується струм у схемі з таким напівпровідником, який потім збільшується за допомогою підсилювачів для подачі необхідного сигналу.

Якщо декілька фотоелементів об'єднати для спільної роботи як джерело електроенергії електричним та механічним способами, то можна одержати сонячну батарею. Основні матеріали для таких фотоелементів – кремній та арсенід галію. GaAs забезпечує більш високий ККД фотоперетворювання – до 22% (у Si – близько 17 %), але він значно дорожче кремнію. До того ж виробництво кремнію зараз добре налагоджене.

Невеликі сонячні батареї можуть бути джерелами енергії для заряджання акумуляторів, роботи електродвигунів різного призначення, живлення освітлювальних приладів та радіоелектронної апаратури у польових умовах.

**Термоелементи** – напівпровідникові прилади, у яких теплова енергія безпосередньо перетворюється у електричну. Коефіцієнт корисної дії таких приладів сягає 7 – 10. Термоелементи складаються з декількох напівпровідників, які з'єднані один з одним металевою пластиною. Приклад ефективної пари: цинк – сурма та сірковий свинець. При підігріві місця з'єднання напівпровідникових пластин у замкнутому ланцюгу виникає електричний струм. З'єднання таких окремих термоелементів у батарею дає можливість отримувати постійний струм напругою у 120 В і більше.

Батареї із термоелементів з радіальним розташуванням окремих елементів, спаї яких сходяться у центрі круга, служать для

одержання живлення радіоустановок у місцях, де відсутня електроенергія. Спаї у цьому випадку підігрівають газом лампою або іншим джерелом тепла.

*Холодильники та нагрівачі* використовують протилежні термоелектричні явища, які спостерігаються у термоелементах. Струм, який виникає у замкнутому ланцюгу термоелемента, охолоджує гарячий спай та підігріває холодний спай. При пропусканні струму через термоелементи у зворотному напрямку виділяється тепло в гарячому спаї та віднімається тепло від холодного. Один і той же спай двох елементів при одному напрямку струму нагрівається, а при іншому – охолоджується. Таким чином, можна охолоджувати повітря у холодильній шафі, у якій розміщується спай елемента, який охолоджується. Для цього у термоелементі підтримують температуру спаю, що нагрівається, близьку до кімнатної. Тепло, що від спаю виділяється, відводиться у навколишнє середовище. Другий спай при цьому значно охолоджується, а через нього охолоджується і повітря у шафі. Напівпровідники із сплавів вісмуту, селену, телуру, сурми забезпечують у термоелементі різницю температур близько  $60^{\circ}\text{C}$ , а у холодильній шафі з такими напівпровідниками підтримується температура мінус  $16^{\circ}\text{C}$ .

Цим же явищем можна скористуватись і для опалення будівель. Якщо пропускати електричний струм через термоелектричний ланцюг та при цьому охолоджувати один спай термоелемента (у зовнішньому повітрі, наприклад), то другий спай буде нагріватись і нагрівати повітря, у якому він знаходиться. Якщо змінити напрям струму на протилежний, то спай, який знаходиться у приміщенні, буде охолоджувати його. Можна регулювати величину та напрям струму у батареї і тим підтримувати однакову температуру у приміщенні при будь-яких температурах зовнішнього повітря.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Богородицкий, Н.П. Электротехнические материалы [Текст] / Н.П. Богородицкий, В.В. Пасынков, Б.М. Тареев. - 7-е изд., перераб. и доп. - Л.: Энергоатомиздат, 1985.

2 Дроздов, .Г. Электроматериаловедение [Текст]: учебник / Н.Г. Дроздов, Н.В. Никулин. – М.:Профтехиздат, 1963.

3 Гончар, В.С. Электроматериаловедение [Текст]: рабочая программа / В.С. Гончар, Т.Е. Харламова. - СПб.: СЗТУ, 2003.

4 Журавлева, Л.В. Электроматериаловедение [Текст]: учеб. для начального профессионального образования / Л.В. Журавлева. - М.: Изд. центр «Академия»; ИРПО, 2000.

5 Конструкционные и электротехнические материалы [Текст]: учеб. / под ред. В.А. Филикова. – М.: Высшая школа, 1990.

6 Электроматериаловедение [Текст]: учеб./ под ред. Н.Г. Дроздова и Н.В. Никулина. – М.: Высшая школа, 1973.

7 Никулин, Н.В. Электроматериаловедение [Текст] / Н.В. Никулин. - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989.

