

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до самостійного вивчення курсу  
із навчальної дисципліни

**«ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІСТ  
ТА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ»**

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
денної та заочної форм навчання зі спеціальності  
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2022**

Методичні рекомендації до самостійного вивчення курсу із навчальної дисципліни «Електропостачання міст та промислових підприємств» (для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : В. Ф. Харченко, І. Е. Щербак. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2022. – 30 с.

Укладачі: д-р техн. наук., проф. В. Ф. Харченко,  
канд. техн. наук., ст. викл. І. Е. Щербак

#### Рецензент

**В. М. Охріменко**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри систем електропостачання та електроспоживання міст Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою систем електропостачання та електроспоживання міст, протокол № 1 від 3 вересня 2022 р.*

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	5
1 Цехові електричні мережі. Загальні принципи побудови, основне устаткування, схеми і конструктивне виконання. Врахування особливостей технологічного процесу. Критерії і умови раціонального вибору. Внутрішньо-будинкові електричні мережі.....	6
2 Побудова освітлювальних мереж. Зовнішнє освітлення. Розрахунок освітлювальних мереж.....	8
3 Схеми і конструктивне виконання ТП. Вибір місця розташування, числа і потужності трансформаторів цехових ТП. Умови оптимального розподілення споживачів між ТП.....	10
4. Схеми і конструктивне виконання спеціальних підстанцій.....	11
5. Вантажна здібність елементів мережі до 1 кВ. Компенсація реактивної потужності у цехових мережах.....	12
6 Показники якості електроенергії. Процеси та явища в електричних мережах, які викликають порушення показників якості. Вимоги до якості електроенергії.....	13
7 Вплив якості електроенергії на роботу електроприймачів і апаратів.....	15
8 Контроль якості електроенергії. Засоби та технічні спроможності підвищення якості електроенергії.....	16
9 Методи і засоби регулювання напруги в електричних мережах промислових підприємств. Методи аналізу та розрахункові обмеження напруги.....	17
10 Технічні можливості загально мережних технічних засобів. Регулювання напруги використанням додаткових технічних засобів.....	18
11 Джерела вищих гармонік та їх вплив на роботу силового і технологічного устаткування, пристрої автоматики, телемеханіки та зв'язку.....	19
12 Втрати від вищих гармонік в елементах системи електропостачання. Збиток від вищих гармонік.....	20
13 Методи та технічні засоби зниження рівня вищих гармонік.....	21
14 Основні споживачі реактивної потужності. Вплив коефіцієнта потужності на техніко-економічні показники систем електропостачання та підключених до них споживачів.....	22

15	Методи і технічні засоби компенсації реактивної потужності в мережах. Поздовжня й поперечна, пряма й непряма компенсація. Схеми і конструктивне виконання статичних компенсаторів реактивної потужності.....	23
16	Визначення необхідної потужності компенсуючих пристроїв. Розміщення компенсуючих пристроїв в мережах до та вище 1 кВ, режими роботи компенсуючих пристроїв.....	24
17	Шляхи економії електричної енергії. Розрахунок й оцінка витрат енергії в мережах. Енергобаланс. Нормування витрат електричної енергії. Перспективи розвитку електропостачання та електрозбереження.....	25
18	Методи й технічні засоби обліку і контролю електроспоживання.....	26
19	Регулювання електроспоживання, як засіб підвищення ефективності функціонування систем електропостачання. Методи й технічні засоби контролю та управління електроспоживанням.....	27
	СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	28

## ПЕРЕДМОВА

Електропостачання міст і промислових підприємств – наукова дисципліна, що спирається й концентрує в собі знання отримані при вивченні таких курсів як: «Теоретичні основи електротехніки», «Основи електропостачання та електрозбереження», «Електричні системи та мережі», «Електричні станції та підстанції», «Споживачі електричної енергії».

*Матеріал всього курсу можна поділити на чотири розділи:* електричні навантаження промислових підприємств; схеми електричних мереж і надійність електропостачання; компенсація реактивної потужності; якість електроенергії в електричних мережах і способи її забезпечення.

Вивчати матеріал курсу слід відповідно до порядку, наведеного в цих методичних вказівках. Після вивчення кожної теми необхідно розібратися з рішенням типових завдань, наведених у вказівках, і відповісти на контрольні питання.

Скорочення:

ПП – промислове підприємство;

ПС – підстанція;

ТП – трансформаторна підстанція;

ГПЖ – головна підстанція живлення;

КТП – комплектна ТП;

КЗ – коротке замикання;

СД – синхронні двигуни;

МВ – методичні вказівки;

КП – компенсуючий пристрій;

РПН – регулювання під навантаженням.

# 1 Цехові електричні мережі. Загальні принципи побудови, основне устаткування, схеми і конструктивне виконання. Врахування особливостей технологічного процесу. Критерії і умови раціонального вибору. Внутрішньо-будинкові електричні мережі

Цехові та внутрішньо-будинкові електричні мережі відносяться до *мереж з напругою живлення нижче 1 кВ*. Розподіл електроенергії при напрузі до 1 кВ проводиться для живлення відповідних споживачів і на невеликі відстані, що обумовлено техніко-економічними показниками (втрати). Найчастіше в цехах живлення споживачів відбувається на напрузі 380 В та 660 В, а в будинках на напрузі 220 В.

Схеми цехових мереж поділяють на магістральні й радіальні.

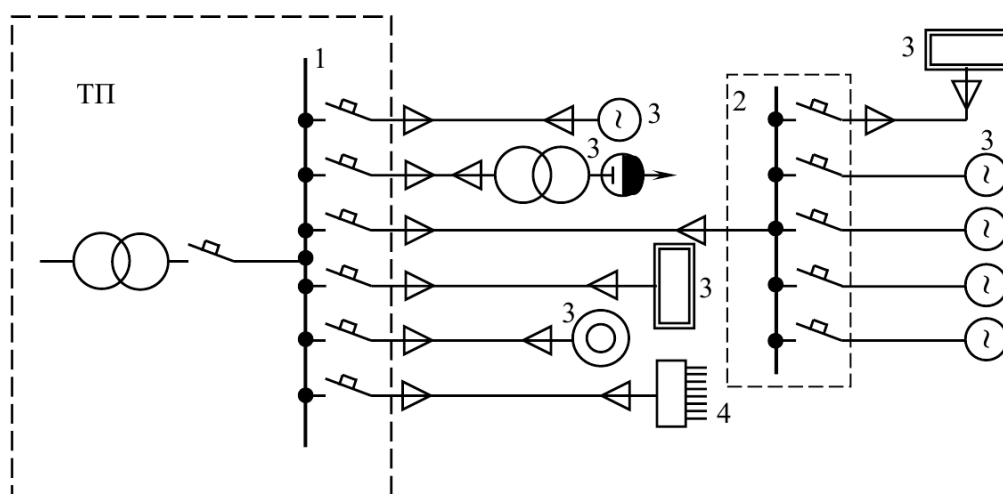


Рисунок 1.1 – Радіальна схема живлення:

1 – розподільний щит ТП; 2 – силовий РП; 3 – електроприймач;  
4 – щит освітлення

Радіальні схеми застосовують при кабельній або повітряній прокладці ліній. Магістральні схеми використовують при лінійному («упорядкованому») розміщенні підстанцій на території підприємства і виконують у вигляді одиночних і подвійних магістралей з одно – або двостороннім живленням. При розрахунку навантаження будинку виділяють сантехнічне устаткування (насоси підтримання тиску в системах, ліфтові установки) та середню потужність на квартиру.

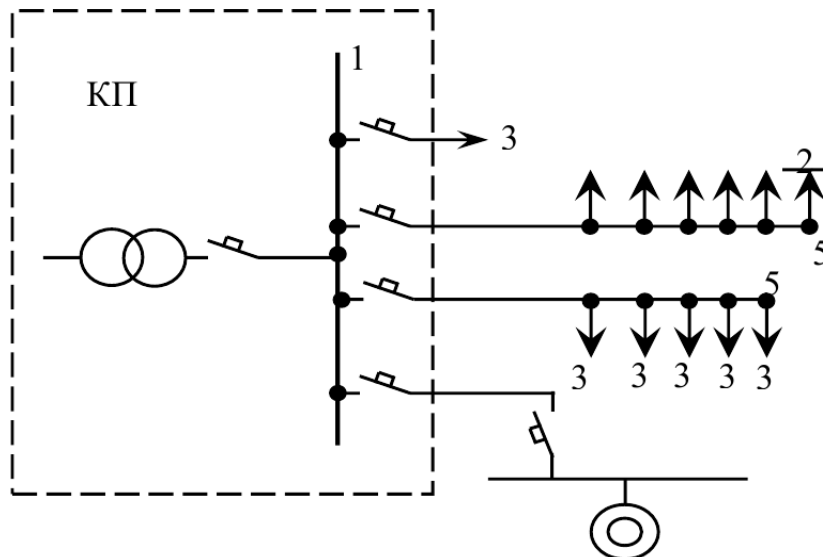


Рисунок 1.2 – Магістральні схеми живлення з розподільним шинопроводом  
 б – блок трансформатор-магістраль; 1 – розподільний щит ТП;  
 2 – силовий РП; 3 – електроприймач; 5 – розподільний шинопровід

### **Рекомендована література**

За списком джерел [1, с. 209; 2, с. 84–112, 132–137, 222–231; 3, с. 22–24; 3, с. 122–127; 5, с. 11–14; 6, с. 43–63; 7, с. 61–68, 95].

### **Контрольні питання**

1. Які схеми цехових мереж використовують?
2. Яке основне устаткування використовується на ПП?
3. Як впливає технологія праці устаткування на вибір схеми електропостачання цехових мереж?
4. Назвіть переваги і недоліки радіальних схем.
5. Які існують переваги та недоліки магістральних схем?
6. Яку роль відіграє 2х стороннє живлення магістральних ліній?
7. Призначення перемички між магістральними лініями.

## **2 Побудова освітлювальних мереж. Зовнішнє освітлення. Розрахунок освітлювальних мереж**

Освітлювальні мережі поділяють на внутрішні й зовнішні. В свою чергу існує спільне та специфіка розрахунку внутрішніх й зовнішніх освітлювальних мереж для промислових підприємств й міст.

На промислових підприємствах (в цехах та інших приміщеннях) найчастіше мають місце такі два види освітлення:

1) робоче (основне), що забезпечує належну освітленість робочих місць і територій;

2) аварійне, що забезпечує у випадку згасання світильників робочого освітлення мінімальну освітленість, необхідну для тимчасового продовження діяльності персоналу і забезпечення безпеки виходу людей з приміщення.

У свою чергу, розрізняють наступні системи робочого освітлення:

1) система загального освітлення, призначеного для освітлення якої-небудь площадки в цілому;

2) система місцевого освітлення, призначеного для додаткового освітлення робочих місць, у стаціонарному і переносному виконанні;

3) система комбінованого освітлення, що передбачає спільне застосування загального і місцевого освітлення.

Найчастіше освітлення розраховується відповідно до нормативних показників в залежності від площі освітлювальної території. Так розраховують витрати енергії на освітлення цеху (в т. ч. в КП), площі ПП та мікрорайону.

Освітлювальні мережі розраховують:

1) за припустимою втратою напруги, що забезпечує в джерелі світла напругу не нижче визначених значень;

2) за припустимим нагріванням дротів;

3) за механічною міцністю залежно від умов прокладки.

Основним є розрахунок мережі за величиною розрахункових втрат напруги.

До виконання розрахунків необхідно визначити розрахункові навантаження і розрахункові значення втрат напруги.



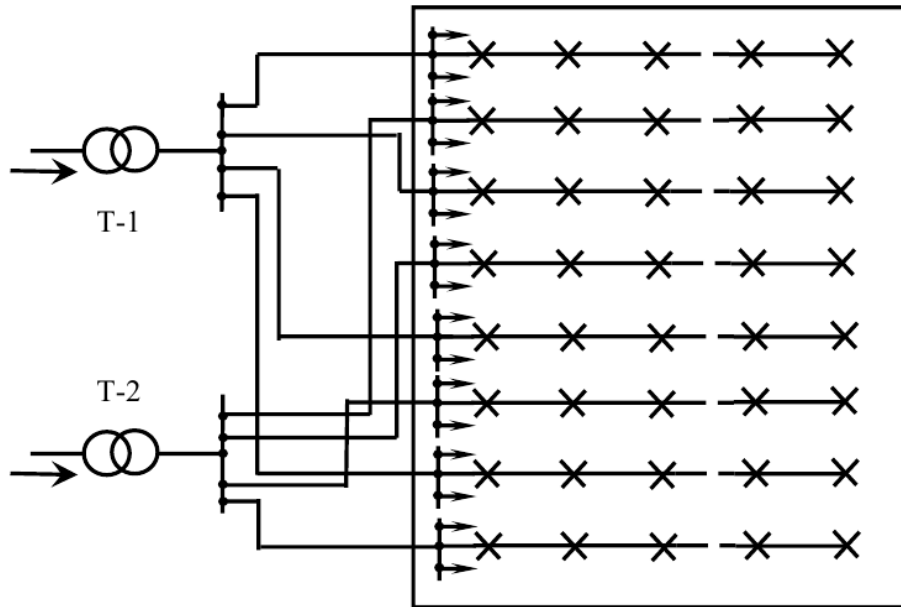


Рисунок 2.1 – Схема живлення освітлювальної мережі в цеху від двох трансформаторів

### ***Рекомендована література***

За списком джерел [2, с. 164–174, 191–192; 5, с. 590–591, с. 593–595, с. 599–600, с. 602–604; 6, с. 50; 7, с. 77–81, с. 99–117].

### ***Контрольні питання та завдання***

1. Назвіть види освітлення.
2. Які вимоги висуваються до місцевого освітлення?
3. Яке призначення аварійного освітлення (АО)?
4. По яким параметрам розраховують освітлювальні мережі?
5. Назвіть допустиму втрату напруги для загального освітлення.
6. Від чого залежить величина втрат напруги в освітлювальній мережі?
7. Основні принципи побудови схеми живлення електричного освітлення?
8. Які джерела живлення використовуються для АО?
9. Системи робочого освітлення.

### **3 Схеми і конструктивне виконання ТП. Вибір місця розташування, числа і потужності трансформаторів цехових ТП. Умови оптимального розподілення споживачів між ТП**

Кількість трансформаторів яку слід встановити на ПС залежить від категорії споживачів, що підключаються до ПС. На ПС, що містять споживачів І категорії необхідна установка двох трансформаторів(двох незалежних джерел).

Цехові трансформаторні підстанції (ЦТП) напругою 6-20/0,38-0,66 кВ частіше всього виконуються без збірних шин на високій стороні, як при радіальному, так і при магістральному живленні.

Виділяють два основних місця розташування ЦТП – це безпосередньо в приміщенні цеху та ззовні (у стіни цеху). Вибір типу трансформаторів залежить від його розміщення.

Використовуються одно та двотрансформаторні підстанції. Вибір типу ТП, кількості й потужності трансформаторів відповідно до  $P_{\text{нав}}$  та визначається вимогами по надійності електропостачання.

#### ***Рекомендована література***

За списком джерел [1, с. 243–270; 2, с. 270–283; 3, с. 71–83; 5, с. 473–521, с. 468–472; 7, с. 51–52].

#### ***Контрольні питання***

1. На основі яких положень вибирається номінальна потужність трансформаторів?
2. Від чого залежить вибір кількості трансформаторів на ТП?
3. Чим характеризується нормальний режим роботи трансформатора?
4. Причини виникнення після аварійного режиму роботи трансформаторів?
5. Коефіцієнт завантаження трансформаторів?
6. Назвіть величини допустимих температур для обмоток трансформаторів й масла?
7. Які фактори впливають на вибір місця розташування ПС?

#### **4 Схеми і конструктивне виконання спеціальних підстанцій**

Спеціальні ТП, призначені для живлення специфічних навантажень таких як, електропечі, споживачів, що вимагають струму іншого виду і та ін.

Спеціальні ТП, з нестандартною низькою напругою (15–500 В), використовуються для живлення електропечей(ДСП). Такі підстанції виконуються в вигляді КТП й встановлюються безпосередньо у печей, що обумовлюється великими струмами печей (сотні кілоампер) з врахуванням технологічного процесу.

Перетворюючі підстанції та установки використовуються для перетворення трьохфазного струму з частотою 50 Гц в в трьо- чи однофазний підвищеної (низької) частоти, чи в постійний.

Відповідно до призначення ТП й робиться вибір трансформаторів для ТП.

При розміщенні спеціальних підстанцій необхідно враховувати специфіку середовища.

Схеми живлення перетворюючих підстанцій будуються в залежності від паралельно працюючих перетворюючих агрегатів і вимог по надійності.

#### ***Рекомендована література***

За списком джерел [1, с. 257–270; 2, с. 70–112; 5, с. 531–537].

#### ***Контрольні питання***

1. Для чого використовуються спеціальні ТП.
2. Які підстанції використовуються для живлення електропечей?
3. В яких випадках для живлення електропечей використовуються 3 однофазних трансформатори?
4. Особливості коротких мереж що живлять печі.
5. Призначення оперативно-захистних вимикачів на ТП що живлять печі?
6. Для чого використовуються кременеві випрямляючі агрегати?
7. Принципова побудова перетворюючих підстанцій електролізних установок?

## **5 Вантажна здібність елементів мережі до 1 кВ. Компенсація реактивної потужності у цехових мережах**

Мережа до 1 кВ може бути виконана кабельними, повітряними лініями, а також шино проводами. Під вантажною здібністю розуміємо робочий та нормально припустимий стуми.

Розрізняють: нормальний режим роботи; після аварійний режим (в схемі відсутній один або декілька елементів і параметри режиму не перевищують допустимих меж).

Пропускна спроможність провідників залежить від повної потужності навантаження, тому слід компенсувати реактивну потужність

### ***Необхідно розглянути такі питання:***

- Втрати активної потужності при передачі реактивної потужності.
- Втрати реактивної потужності при її передачі.
- Додаткові втрати напруги в елементах мережі.
- Рівняння балансу реактивної потужності.
- Способи і засоби компенсації реактивної потужності.

### ***Рекомендована література***

За списком джерел [1, с. 71–92; 2, с. 323–421; 3, с. 144–158; 5, с. 554–562, с. 578–581; 6, с. 87; 7, с. 140–151].

### ***Контрольні питання***

1. Як здійснюється вибір провідників за економічною щільністю?
2. Вибір перерізу провідників за термічною стійкістю.
3. Вибір перерізу провідників по нагріву.
4. Навіщо розраховують стуми КЗ?
5. Переваги конденсаторних установок.
6. Статичні джерела реактивної потужності.
7. СД – як джерело реактивної потужності.

## 6 Показники якості електроенергії.

### Процеси та явища в електричних мережах, які викликають порушення показників якості. Вимоги до якості електроенергії

Дотримання енергопостачальними організаціями і ЕП показників якості дозволяє не тільки заощаджувати паливно-енергетичні ресурси, але й інші види матеріальних ресурсів, частина яких при низькому рівні якості електроенергії витрачається на продукцію, що відбраковуються та утилізується.

Показники якості електроенергії (ПЯЕ) підрозділяються на дві групи: основні ПЯЕ (визначають властивості електроенергії, що характеризують її якість); додаткові ПЯЕ (форма запису основних показників, що використовуються в нормативно-технічних документах).

До основних показників якості відносяться: відхилення частоти  $\Delta f$ ; відхилення напруги  $\Delta U$ ; розмах зміни напруги  $\delta U_t$ ; коефіцієнт (доза) коливання напруги  $\Psi$ ; коефіцієнт несинусоїдальності напруги  $K_{нсU}$ ; коефіцієнт  $v$ -ої гармонійної складової  $K_{U(v)}$ ; коефіцієнт зворотної послідовності  $K_{2U}$ ; коефіцієнт нульової послідовності  $K_{0U}$ ; тривалість провалу напруги –  $t_n$ ; імпульсна напруга  $U_{имп}$ .

До додаткових показників якості відносяться: коефіцієнт амплітудної модуляції  $K_{mod}$ ; коефіцієнт небалансу міжфазних напруг  $K_{неб.}$ ; коефіцієнт небалансу фазних напруг  $K_{неб.ф.}$ .

Для визначення припустимих значень деяких з основних ПЯЕ використовують наступні допоміжні параметри: частота зміни напруги  $F$ ; інтервал часу між змінами напруги  $\Delta t_i, \Delta t_{i+1}$ ; глибина провалу напруги  $\Delta U_n$ ; інтенсивність провалів напруги  $m$ .

Якість електричної енергії в електричних мережах характеризується: для трифазних мереж всіма основними показниками; для однофазних мереж усіма показниками за винятком несиметрії напруг.

Порушення показників якості електричної енергії в електричних мережах викликають такі процеси і явища:

1. Відхилення частоти в енергосистемі (Номінальне значення частоти, в Україні дорівнює 50 Гц, в електричній системі може бути забезпечено при умові наявності резерву активної потужності.);

2. Відхилення напруги (При транспортуванні електроенергії від місця її виробництва до споживача необхідно частково витратити саму електроенергію.);

3. Коливання напруги (Розмахи змін напруги, що йдуть один за одним, створюють коливання напруги.);

4. Несинусоїдальність напруги (Джерелами гармонічних викривлень в електричних системах є в основному навантаження, що мають нелінійні характеристики.);

5. Несиметрія напруги.

Вимоги до якості електроенергії викладено в нормативних документах.

### ***Рекомендована література***

За списком джерел [1, с. 333–361; 3, с. 163–179; 6, с. 88; 7, с. 158–170].

### ***Контрольні питання***

1. Що таке відхилення напруги?
2. Що таке розмах зміни напруги?
3. Що таке доза флікера?
4. Що таке коефіцієнт несинусоїдальності
5. Що викликає несинусоїдальність напруги?
6. Чим обумовлено зміна напруги.
7. Причини виникнення коливання напруги.
8. Який міждержавний стандарт якості електроенергії прийнятий на території України?

## **7 Вплив якості електроенергії на роботу електроприймачів і апаратів**

Зниження якості електроенергії може призвести до таких негативних наслідків:

- збільшення втрат активної потужності та електроенергії;
- скорочення строку служби електрообладнання;
- збільшення капітальних вкладень в електричну систему;
- порушення нормального ходу технологічних процесів у споживачів.

Ці наслідки викликаються зміною різних показників якості електроенергії.

Відхилення напруги призводять до нестабільної роботи АД, зменшення напруги пічного трансформатора зниження потужності печі, зменшення світлового потоку ламп і т. д.

В результаті виникнення несиметрії напруги зменшується трок служби асинхронних двигунів, конденсаторів

Несинусоїдальність напруг, що викликається вищими гармоніками на стороні постійного струму, призводить до додаткових втрат електроенергії, погіршує комунікаційні умови двигунів, з'являються збої в роботі автоматики.

### ***Рекомендована література***

За списком джерел [1, с. 339–361; 3, с. 167–179; 7, с. 174–195].

### ***Контрольні питання***

1. Вплив відхилень частоти на роботу ЕП?
2. Вплив зміни напруги на роботу АД?
3. Вплив несиметрії напруги на роботу ЕП?
4. Які показники якості електроенергії впливають на величину втрат потужності?
5. Як несиметричні режими призводять до зменшення строків служби електрообладнання?
6. Вплив коливання напруги на органи зору.

## **8 Контроль якості електроенергії.**

### **Засоби та технічні спроможності підвищення якості електроенергії**

Для визначення основних показників якості встановлений мінімальний інтервал часу вимірів (24 години). Для визначення інших показників якості електричної енергії необхідно проводити тривалі спостереження і реєстрацію. При оцінці якості електроенергії визначається відповідність показників якості за розрахунковий період встановленим нормам, серед яких розрізняють нормально і гранично припустимі значення.

Якість електроенергії контролюють на стадії проектування за допомогою спеціальних розрахунків. В діючих підприємствах контроль якості електроенергії проводиться за допомогою спеціальних приладів.

Потреба підвищення якості електроенергії викликана необхідністю забезпечити нормальну роботу різних типів електроприймачів в електричній системі. Проблема підвищення якості електроенергії виникла у зв'язку із зростанням кількості й потужності джерел переключення типу ДСП, прокатних станів і т. ін., а також через широке розповсюдження чутливих до переключень напруги споживачів, наприклад, мікропроцесорних систем управління та ін.

#### ***Рекомендована література***

За списком джерел [2, с. 430–483; 5, с. 57–66; 6, с. 88; 7, с. 199–208].

#### ***Контрольні питання***

1. Назвіть основні показники якості електроенергії.
2. Які допустимі значення показників якості електроенергії?
3. Які причини збільшення відхилення напруги?
4. Які причини збільшення відхилення частоти?
5. Які причини появи несиметрії напруги?
6. Які причини створення коливань напруги?
7. Які причини появи несинусоїдальності напруги?



## **9 Методи і засоби регулювання напруги в електричних мережах промислових підприємств. Методи аналізу та розрахункові обмеження напруги**

Напруга в різних точках мережі може змінюватись з часом. Виділяють короткочасні зміни (від зміни режиму роботи ЕП) і повільно протікаючи (від зміни режиму роботи джерела живлення).

Нормами якості електроенергії встановлено нормально й максимально (в післяаварійному режимі) допустимі відхилення напруги. Для забезпечення необхідного рівня напруги використовують методи регулювання напруги. Під регулюванням напруги розуміють процес зміни його рівнів в характерних вузлах енергосистеми за допомогою спеціальних засобів.

Існують різні методи регулювання напруги, такі як: а) регулювання в центрах живлення (ЦЖ); б) зміна опору елементів мережі (втрати напруги); в) перерозподіл потоків реактивної потужності; г) зміна коефіцієнтів трансформації, що регулюються під навантаженням, а також тих, що не регулюються таким чином (ЦТП).

При існуванні різко змінних напруг дії по обмеженню коливань напруги (КН) повинні передбачуватися на стадії проектування системи електропостачання.

### ***Рекомендована література***

За списком джерел [3, с.167–170; 4, с. 28–36, с. 101–119].

### ***Контрольні питання***

1. Які методи використовують для регулювання рівня напруги?
2. Що розуміють під діями регулювання на ЦП?
3. Що розуміють під термінами «місцеве» та «централізоване» регулювання?
4. Якими діями знижуються перетоки реактивної потужності?
5. Якими діями забезпечується зміна коефіцієнтів трансформації?
6. Якими технічними діями забезпечується обмеження КН?

## **10 Технічні можливості загально мережних технічних засобів. Регулювання напруги використанням додаткових технічних засобів**

Використання для регулювання напруги: трансформаторів; синхронні компенсатори; продольних компенсаторів; поперечних компенсаторів; вольтодобавочних трансформаторів.

Установка на ЦЖ й біля споживачів синхронних компенсаторів.

Регулювання напруги – змінена її рівня в характерних точках системи електропостачання з використанням спеціальних технічних засобів.

Використовуються такі спроби регулювання:

- регулювання в центрах живлення;
- зміна опору елементів мережі;
- перерозподіл реактивної потужності;
- зміна коефіцієнтів трансформації;
- регулювання під навантаженням (з РПН) трансформаторів.

### ***Рекомендована література***

За списком джерел [4, с. 136–152].

### ***Контрольні питання***

1. Принцип роботи регулювання під напругою.
2. Що таке централізоване регулювання напруги?
3. Що таке місцеве регулювання напруги?
4. В яких випадках застосовують регулювання напруги зміною опору елементів мережі?
5. Як виконується регулювання напруги на електростанціях?

## **11 Джерела вищих гармонік та їх вплив на роботу силового і технологічного устаткування, пристрої автоматики, телемеханіки та зв'язку**

Несинусоїдальність напруги характеризується наявністю крім гармоніки напруги основної частоти  $U_{(1)}$  гармонік  $U_{\nu}$  інших вищих частот, кратних основній частоті ( $\nu = 2, 3, 4, \dots, \infty$ ), які звичайно визначаються розкладанням кривої фактичної напруги в ряд Фур'є. Несинусоїдальність напруги характеризується коефіцієнтом несинусоїдальності напруги і коефіцієнтом  $\nu$ -ї гармонічної.

Джерелами гармонічних викривлень (причиною несинусоїдальності напруги) в електричних системах є в основному навантаження, що мають нелінійні характеристики: дугові сталеплавильні печі; вентиляльні перетворювачі; трансформатори з нелінійними вольт-амперними характеристиками; перетворювачі частоти; індукційні печі; обертові електричні машини, що живляться через вентиляльні перетворювачі; телевізійні приймачі; люмінесцентні лампи; ртутні лампи.

Несинусоїдальні струми призводять до нагрівання обертаючих машин, до збільшення діелектричних втрат в конденсаторах, кабелях.

### ***Рекомендована література***

За списком джерел [1, с. 353–360; 3, с. 170–174].

### ***Контрольні питання та завдання***

1. Що являються причиною виникнення несинусоїдальності.
2. Назвіть основні джерела несинусоїдальності напруги.
3. Назвіть споживачів, що мають нелінійні характеристики.
4. Від чого залежить величина коефіцієнт несинусоїдальності?
5. Яке значення коефіцієнту несинусоїдальності на затискачах ЕП визначається нормами якості електроенергії?
6. Вплив несинусоїдальності на роботу конденсаторних батарей.

## 12 Втрати від вищих гармонік в елементах системи електропостачання. Збиток від вищих гармонік

Несинусоїдальні струми призводять до нагрівання й втрат активної потужності: обертаючих машин (асинхронні та синхронні); трансформаторів; та збільшенню діелектричних втрат в конденсаторах і кабелях.

Так, при роботі з нормальним значенням  $K_{нсU} = 5 \%$  протягом двох років  $tg\delta$  конденсаторної батареї збільшується в два рази. Струм витікання в кабелях збільшується пропорційно тривалості його роботи в умовах підвищеного значення  $K_{нсU}$ . Так, через 2,5 роки при  $K_{нсU} = 6-8,5 \%$  струм витікання кабелю збільшується на 36 %, через 3,5 роки він вже дорівнює 43 %. Проникнення вищих гармонік у мережу призводить до порушення роботи приладів телемеханіки, автоматики, релейного захисту. В мережі можливо виникнення резонансних режимів на вищих гармоніках, при цьому різко зростають струми і напруги на окремих ділянках мережі.

При роботі електрообладнання в номінальному режимі додаткові втрати від несиметрії опору призводять до перегріву струмоведучих частин вище допустимої температури.

### *Рекомендована література*

За списком джерел [1, с. 353–360; 3, с. 170–174].

### *Контрольні питання та завдання*

1. Причини виникнення додаткових втрат від несинусоїдальності?
2. Які втрати виникають при несинусоїдальності напруги в АД?
3. Які втрати виникають від несинусоїдальності напруги в СД?
4. Назвіть втрати виникають від несинусоїдальності напруги в трансформаторах.
5. Додаткові втрати від несинусоїдальності напруги в трансформаторах.
6. Додаткові втрати від несинусоїдальності напруги в лініях передач.
7. Додаткові втрати в косинусних конденсаторах.

### 13 Методи та технічні засоби зниження рівня вищих гармонік

Способи зниження несинусоїдальності напруги можна розділити на три групи:

а) *схемні рішення*: – виділення нелінійних навантажень на окрему систему шин; – розосередження навантажень по різних вузлах СЕП з підключенням паралельно їм електродвигунів; – групування перетворювачів за схемою помноження фаз; підключення навантаження до системи з більшою потужністю СКЗ.

б) *використання фільтрових пристроїв*: – ввімкнення паралельно навантаженню вузькосмугових резонансних фільтрів; – ввімкнення фільтрокомпенсуючих пристроїв (ФКП); – застосування фільтроцентруючих пристроїв (ФЦП); – застосування ІРМ, що містять ФКП.

в) *застосування спеціального обладнання, яке має знижений рівень генерації вищих гармонік*: – використання «ненасичуваних» трансформаторів; – застосування багатофазних перетворювачів з поліпшеними енергетичними показниками.

Фільтроцентруючі пристрої окрім фільтрації вищих гармонік виконують функції центрування напруги. Конструктивно ФЦП являють собою несиметричний фільтр, який підключається на лінійну напругу мережі.

#### ***Рекомендована література***

За списком джерел [1, с. 353–360; 7, с. 157, с. 181, с. 208].

#### ***Контрольні питання та завдання***

1. Чому необхідно знижувати несинусоїдальність напруги?
2. На які три групи розділяють способи зниження несинусоїдальності?
3. Назвіть схемні рішення зниження несинусоїдальності.
4. Перерахуйте що включає спосіб використання фільтрових пристроїв.
5. Назвіть спеціальне обладнання що має знижений рівень генерації гармонік.

## 14 Основні споживачі реактивної потужності. Вплив коефіцієнта потужності на техніко-економічні показники систем електропостачання та підключених до них споживачів

Електроприймачі споживачів вимагають для своєї роботи як активної, так і реактивної потужності. Реактивна потужність виробляється як і активна синхронними генераторами і передається по системі електропостачання до споживачів.

Величина активної потужності, що виробляється джерелом, визначається:

$$P = \sqrt{3} UI \cos \varphi = \sqrt{3} S \cos \varphi$$

Знижуючи споживання приймачами реактивної потужності, можна: зменшити встановлену потужність генератора, трансформаторну потужність підстанцій, збільшити пропускну здатність системи електропостачання, не збільшуючи перерізів кабелів, проводів та інших струмопровідних частин.

Основними споживачами реактивної потужності на промислових підприємствах є асинхронні двигуни. На їх частку приходиться 65–70 % споживаної реактивної потужності, 20–25 % приходиться на трансформатори і 10 % на повітряні лінії електропередачі та інші приймачі (люмінесцентні лампи, індуктивні печі і та ін.).

Способи забезпечення промислових споживачів активною і реактивною потужностями різні. Якщо джерелами активної потужності є тільки генератори електричних станцій, то видів джерел реактивної потужності більше: синхронні машини, батареї конденсаторів, ємнісна провідність повітряних і кабельних ліній електропередачі.

Витрати на виробництво реактивної потужності генераторами електричних станцій, як правило, нижче, ніж витрати на виробництво реактивної потужності іншими джерелами. Але передача реактивної потужності від шин електричних станцій по мережах електричної системи і мережах промислових підприємств приводить до додаткових витрат.

### ***Рекомендована література***

За списком джерел [1, с. 71–88; 3, с. 144–158; 4, с. 153–163; 7, с. 144–153].

### ***Контрольні питання***

1. Основні методи визначення величини реактивної потужності.
2. Цілі компенсації реактивної потужності.
3. Діаграма роботи компенсуючи пристроїв.
4. Основні споживачі реактивної потужності.
5. Способи забезпечення споживачів реактивною потужністю.
6. Чому доцільно виробляти реактивну потужність безпосередньо біля споживача?

## **15 Методи і технічні засоби компенсації реактивної потужності в мережах. Поздовжня й поперечна, пряма й непряма компенсація. Схеми і конструктивне виконання статичних компенсаторів реактивної потужності**

При проектуванні системи електропостачання і її експлуатації розглядаються і впроваджуються заходи, що не потребують спеціальних компенсуючих пристроїв. До них можна віднести: впорядкування технологічного процесу для підвищення коефіцієнта потужності; використання синхронних двигунів у всіх випадках, коли це раціонально і можливо; правильний вибір потужності трансформаторів і двигунів з їх оптимальним навантаженням; застосування пристроїв, що обмежують холостий хід приймачів – асинхронних двигунів, трансформаторів, заміна і тимчасове відключення малозавантажених трансформаторів і та ін.

Однак без технічних засобів здійснити ці заходи не можливо. До таких технічних засобів відносяться: конденсаторні батареї, синхронні компенсатори.

### ***Рекомендована література***

За списком джерел [1, с. 71–88; 2, с. 323–421; 3, с. 148–153; 4, с. 167–191; 7, с. 149–154].

### ***Контрольні питання***

1. Методика зниження  $\cos\varphi$  без використання компенсуючи пристроїв.
2. Методика зниження  $\cos\varphi$  з використання компенсуючи пристроїв.
3. Компенсація реактивної потужності в мережах з нелінійним навантаженням.
4. Перелічіть переваги використання конденсаторних батарей.
5. Виділіть недоліки використання конденсаторних батарей.
6. Використання СД як джерел реактивної потужності.
7. Схеми приєднання конденсаторних установок.

## **16 Визначення необхідної потужності компенсуючих пристроїв. Розміщення компенсуючих пристроїв в мережах до та вище 1 кВ, режими роботи компенсуючих пристроїв**

Необхідна потужність компенсуючих пристроїв (КП)  $Q_{кп}$  визначається з балансу реактивної потужності:

$$Q_{кп} = Q_{\Sigma} - Q_{ec}$$

де  $Q_{\Sigma}$  – розрахункове значення загальної реактивної потужності, що споживається протягом максимального активного навантаження енергосистеми;  $Q_{ec}$  – економічно обґрунтована найбільша реактивна потужність енергосистеми, яку вона може передати в режимі найбільших активних навантажень.

Для вибору потужності й місця встановлення компенсуючих пристроїв проводять пошук такого рішення, що забезпечував би максимальний економічний ефект при дотриманні всіх технічних умов нормальної роботи системи електропостачання. Критерієм економічного ефекту є приведені витрати.

Існують спрощені методи визначення потужності й місця встановлення компенсуючих пристроїв.

Розрахункова потужність батарей конденсаторів до 1 кВ визначається двома послідовними розрахунковими етапами: 1. Вибір економічно оптимального числа трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій; 2. Визначення додаткової потужності батарей конденсаторів з метою оптимального зниження втрат у трансформаторах і в мережі 10 кВ підприємства, що живить ці трансформатори.

### ***Рекомендована література***

За списком джерел [1, с. 71–88; 2, с. 421–428; 3, с. 144–158; 6, с. 87; 7, с. 149–151].

### ***Контрольні питання***

1. Чому необхідно встановлювати КП?
2. Як визначається необхідна потужність КП?
3. Де розміщуються КП в мережах до 1 кВ?
4. Де розміщуються КП в мережах вище 1 кВ?
5. Як визначається місце встановлення КП?
6. Що розуміють під терміном «режим роботи КП»?
7. Які виділяють режими роботи КП?



**17 Шляхи економії електричної енергії.  
Розрахунок й оцінка витрат енергії в мережах.  
Енергобаланс. Нормування витрат електричної енергії.  
Перспективи розвитку електропостачання та електрозбереження**

Існує декілька шляхів економії і раціонального використання електроенергії: *перший* – *організаційно – економічний* (оптимізація структур об'єктів з урахуванням багатьох чинників); *другий* – *технологічний* (залучення нових менш енергоємних технологій); *третій* – *технічний* (впровадження принципово нових машин й механізмів); *четвертий* – *структурно – енергетичний* (заміщення традиційних джерел електроенергії).

Від правильного врахування витрат електроенергії (споживаної потужності) залежить ефективність керування процесом економії електроенергії.

Визначення статей витрат електроенергії є основною задачею оформлення енергобалансу на підприємствах вони складаються з приходної й витратної частини, рівних одна одній.

***Рекомендована література***

За списком джерел [1, с. 513–527; 3, с. 40–49].

***Контрольні питання***

1. Назвіть організаційно-технічні заходи економії електричної енергії.
2. Класифікація витрат електричної енергії.
3. Вплив оптимального вибору обладнання на величину витрат електричної енергії.
4. Як використання лічильників впливає на нормування витрат електричної енергії.
5. Вплив раціональної побудови системи електропостачання на величину витрат електричної енергії.

## **18 Методи й технічні засоби обліку і контролю електроспоживання**

Інформація про споживання електроенергії використовується при вирішенні наступних завдань: виконання розрахункових відносин підприємства з енергопостачальною організацією.

За допомогою технічних засобів обліку і контролю на промислових підприємствах проводиться:

- 1) розрахунковий облік споживаної електроенергії для фінансових розрахунків за неї у відповідності до діючих тарифів;
- 2) технічний облік витрат електроенергії виробництвами, цехами, ділянками, агрегатами та ін.;
- 3) збір інформації для диспетчера по управлінню енергоспоживанням про виконання договірних чи заданих режимів електроспоживання.

### ***Рекомендована література***

За списком джерел [2, с. 430–483; 6, с. 88].

### ***Контрольні питання***

1. Назвіть методи обліку і контролю за електроспоживанням.
2. Назвіть технічні засоби обліку і контролю за електроспоживанням.
3. Які лічильники використовуються для контролю електроспоживанням?
4. Інформаційно-вимірювальні системи.
5. Багаторівневі інформаційно-вимірювальні системи.
6. Яка роль ЕВМ в обліку і контролю електроспоживанням?

## **19 Регулювання електроспоживання, як засіб підвищення ефективності функціонування систем електропостачання. Методи й технічні засоби контролю та управління електроспоживанням**

Системою регулювання називають комплекс методів керування та технічних засобів, за допомогою яких здійснюється збір обробка інформації і видача керуючих команд. За наявності складових (лічильники, енергодиспетчер, канали телемеханіки, автоматизоване робоче місце і т. д.) системи регулювання поділяються на диспетчерські, автоматизовані та автоматичні.

Особливістю сучасної енергетики є нерівномірність споживання, що можна наочно спостерігати на графіку добове навантаження (піки вранці та ввечері та значний спад в нічний час). Забезпечення електроенергією при таких графіках навантаження потребує значних витрат в порівнянні з рівномірним, тому використовують різні технічні та економічні методи по зниженню витрат.

Необхідно проводити заходи які приведуть до зниження питомого споживання електроенергії.

Досвід показує що:

- необхідно прагнути до більш рівномірного графіка навантаження;
- дуже важливо слідкувати за режимом напруги промислового підприємства;
- підтримувати оптимальне значення напруги.

### ***Рекомендовані джерела***

За списком джерел [1, с. 363–384, с. 435–458; 2, с. 430–483; 4, с. 28–46].

### ***Контрольні питання***

1. Що розуміється під терміном «регулювання енергоспоживання»?
2. Назвіть основні методи регулювання енергоспоживання.
3. Яке призначення тиристорних обмежувачів напруги?
4. Як величина напруги впливає на споживаючу потужність АД?
5. Структура диспетчерської системи регулювання
6. Автоматичні системи регулювання електроспоживанням.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шкрабець Ф. П. Електропостачання [Електрон. ресурс] : навч. посіб. / Ф. П. Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпропетровськ : НГУ, 2015. – 540 с. – Режим доступу : <https://core.ac.uk/download/132413036.pdf>, вільний (дата звернення: 26.08.22). – Назва з екрана.
2. Василега П. О. Електропостачання [Електрон. ресурс] : підручник / П. О. Василега. – Суми : СумДУ, 2019. – 521 с. – Режим доступу : <https://www.essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/72467>, вільний (дата звернення: 26.08.22). – Назва з екрана.
3. Бурбело М. Й. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків. [Електрон. ресурс] : навч. посіб. / М. Й. Бурбело, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 204 с. – Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/11784/Burbelo%20Elektropostachannya%202012.pdf?sequence=1>, вільний (дата звернення: 26.08.22). – Назва з екрана.
4. Говоров П. П. Автоматизація керування режимами міських електричних мереж [Електрон. ресурс] : монографія / П. П. Говоров, В. Ф. Харченко, В. П. Говоров; Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. – 229 с. – Режим доступу : [https://eprints.kname.edu.ua/46992/1/%D0%9F%D0%95%D0%A7\\_2013%2011%D0%9C%D0%9D%20%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F.pdf](https://eprints.kname.edu.ua/46992/1/%D0%9F%D0%95%D0%A7_2013%2011%D0%9C%D0%9D%20%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F.pdf), вільний (дата звернення: 26.08.22). – Назва з екрана.
5. Правила улаштування електроустановок [Електрон. ресурс] : Видання офіційне. Міненерговугілля України, Київ, 2017. – 617 с. – Режим доступу : <https://artenergetyka.com.ua/%D0%9F%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D0%BB%D0%B0%D1%83%D0%BB%D0%B0%D1%88%D1%82%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%BA.pdf>, вільний (дата звернення: 26.08.22). – Назва з екрана.
6. ДБН В.2.5-23:2010. Державні будівельні норми України. Проектування електрообладнання житлових і громадських будівель і споруд [Електрон. ресурс] : На зміну ДБН В.2.5-23-2003 – чинний від з 1 жовтня 2010 року. – Державний комітет України з будівництва та архітектури. – Київ, 2010. – Режим доступу : <http://kbu.org.ua/assets/app/documents/dbn2/92.1.%20%D0%94%D0%91%D0%9D%20%D0%92.2.523~2010.%20%D0%86%D0%BD%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B5%20%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D0%B1%D1%83%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%BA%D1%96%D0%B2%20%D1%96.pdf>, вільний (дата звернення: 26.08.22). – Назва з екрана.

7. Харченко В. Ф. Конспект лекцій з курсу «Електропостачання міст та промислових підприємств» (для студентів усіх форм навчання: бакалаврів, спеціалістів та магістрів галузі знань 14 – Електрична інженерія, спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, професійного спрямування «Електротехнічні системи електроспоживання») [Електрон. ресурс] / В. Ф. Харченко, О. А. Якунін, В. Г. Воропай ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 241 с. – Режим доступу : <https://eprints.kname.edu.ua/52143/>, вільний (дата звернення: 26.08.22). – Назва з екрана.

*Виробничо-практичне видання*

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до самостійного вивчення курсу  
із навчальної дисципліни

**«ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІСТ  
ТА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ»**

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
денної та заочної форм навчання зі спеціальності  
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

Укладачі: **ХАРЧЕНКО** Віктор Федорович,  
**ЩЕРБАК** Ірина Євгенівна

Відповідальний за випуск *В. Є. Плюгін*

*За авторською редакцією*

Комп'ютерне верстання *В. Ф. Харченко*

План 2022, поз. 453М.

---

Підп. до друку 30.01.2023. Формат 60 × 84/16.  
Електронне видання. Ум. друк. арк. 1,7.

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова 17, Харків, 61002.  
Електронна адреса: office@kname.edu.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
№ ДК 5328 від 11.04.2017