

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВНУТРІШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

з навчальної дисципліни  
«Спеціальні розділи електроенергетики»  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(Електромеханіка)***

**за темою № 8 – Експлуатація систем електропостачання**

**Кременчук 2023**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2023 № 7

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного коледжу  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 28.08.2023 № 1

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією Науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023р № 1.

**Розробник:** викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Волканін Є.Є.

**Рецензенти:**

1. Доцент кафедри електричних станцій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», к.т.н. Шокар'єв Д.А.
2. Викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання КЛК ХНУВС, к.т.н., професор Гаврилюк Ю.М.

### **План лекції:**

1. Нормування і планування електроспоживання.
2. Організація обліку і контролю електроенергії.
3. Задача раціонального регулювання добового графіка активного навантаження.
4. Регулювання режиму електроспоживання при дефіциті потужності в енергосистемі.
5. Економія електроенергії в промислових електроустановках.

### **Рекомендована література:**

#### **Основна література:**

1. Шкрабець Ф. П. Основи електропостачання: Навч. посібник. –Д.: Національний гірничий університет, 2012.
2. Електропостачання промислових підприємств: Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків: ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.
3. Разумний Ю.Т., Заїка В.Т., Степаненко Ю.В. Енергозбереження: Навч.посібник. –Д.: Національний гірничий університет, 2005.
4. Перехідні процеси в системах електропостачання / Півняк Г.Г., Винославський В.Н., Рибалко А.Я., Несен Л.І. та ін. – Дніпропетровськ: Видавництво НГА України, 2000.
5. Василега П.О. Електропостачання: Навчальний посібник. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. – 415 с.

#### **Допоміжна література:**

1. Сінчук О.М., Бойко С.М., Сінчук І.О., Ялова О.М. Спеціальні розділи енергетики. Нетрадиційна та відновлювана енергетика. Навчальний посібник – Кривий Ріг – Кременчук: Видавництво ПП Щербатих О.В. 2017, – 218 с.
2. Сінчук О.М., Бойко С.М., Сінчук І.О., Мельник О.Є. Нормативно-правова база енергетики Навчальний посібник – Кривий Ріг – Кременчук: Видавництво ПП Щербатих О.В. 2017, – 150 с.
3. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків: навчальний посібник / М. Й. Бурбело, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 204 с.

#### **Інформаційні ресурси в Інтернеті:**

1. Сервер Верховної Ради України. – Режим доступу: [www.rada.gov.ua](http://www.rada.gov.ua).
2. Нормативні акти України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.nau.kiev.ua](http://www.nau.kiev.ua).
3. Закон України "Про ринок електричної енергії" – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>.
4. Закон України "Про електроенергетику" – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: - <https://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/575/97-%D0%B2%D1%80>.

## Текст лекції

### 1. Нормування і планування електроспоживання

Показники норм витрати є вихідними даними для визначення загального обсягу споживання електроенергії. Нормуванню підлягає уся витрата електроенергії по підприємству, як на основних, так і на допоміжних і підсобних виробництвах. Нормування електроспоживання дозволяє визначити планову витрату електроенергії на виробництво одиниці продукції. Норми питомої витрати електроенергії встановлюються на підставі техніко-економічного розрахунку і, як правило, відображають максимально припустиму витрату електроенергії на виробництво одиниці продукції (або обсягу роботи) установленої якості.

Під питомою нормою витрати розуміється об'єктивно необхідна витрата електроенергії на виробництво одиниці продукції або обсягу роботи, обумовлений організацією і технологією процесу виробництва, рівнем застосовуваного технологічного й енергетичного устаткування, а також технічним станом і режимом роботи виробничого устаткування. Норми витрати електроенергії на підприємстві і заявленій максимальній потужності є непостійними, вони повинні змінюватися, відображаючи науково-технічний прогрес у виробництві і забезпечуючи найбільш ефективне і раціональне використання електроенергії.

Одним з основних заходів щодо нормування витрати електроенергії є організація постійного контролю за фактичною витратою електроенергії на виробництво, що здійснюється по приладам (системам) обліку. Системи розрахункового обліку для розрахунку з енергопостачальною організацією і технічним обліком на виробництві дають можливість забезпечити постійний контроль за нормами витрати електроенергії. Планова витрата електроенергії визначається множенням планової питомої норми витрати (технологічної, загальноцехової, загальнозаводської) на фактичний обсяг випущеної продукції по агрегату, цеху, заводу, підприємству за звітний період (місяць, квартал, рік).

Планова витрата електроенергії в загальному виді

$$W_{пл} = \omega_{пл} Q_{ф},$$

де  $\omega_{пл}$  — планова питома норма витрати електроенергії;  $Q_{ф}$  — фактичний обсяг продукції.

Економія електроенергії або її перевитрата  $E$  (у відносних одиницях) визначається як різниця між плановим установленим споживанням і фактичним  $W_{ф}$ , визначеним по приладам обліку електроенергії:

$$E = \frac{W_{пл} - W_{ф}}{W_{пл}}.$$

Фактична питома норма витрати електроенергії

$$\omega_{\phi} = W_{\phi}/Q_{\phi}.$$

Для своєчасного й ефективного регулювання максимальної потужності підприємство повинне бути оснащене системою контролю і впливу на максимум навантаження за відрізок часу менш 30 хв (з метою відбудовування від пускових режимів рекомендуються 1 - 5-хвилинні інтервали, великі на початку контрольованого періоду, і менші — наприкінці).

Обумовлена нормативами 30-хвилинна потужність промислового підприємства є базовою для планування організаційно-технічних заходів, спрямованих на зниження максимальної потужності в години максимуму навантаження енергосистеми і визначення електричної потужності споживачів-регуляторів.

Оптимізація режимів електроспоживання досягається в результаті рішення задач, основними з яких є: регулювання режимів споживання активних і реактивних потужностей; нормування електроенергії; планування електроспоживання з дотриманням планових лімітів; організація обліку і тарифікації електроенергії.

## **2. Організація обліку і контролю електроенергії**

Основні вимоги, пропоновані до обліку електроенергії, регламентовані Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ). Вони рекомендують два види обліку електроенергії:

- розрахунковий (комерційний), що фіксує вироблену і відпущену електроенергію для визначення її вартості;
- технічний (внутрішньозаводський), що контролює витрату електроенергії споживачами, наприклад промисловим підприємством.

Відповідно до цього прилади обліку (лічильники) електроенергії поділяються на розрахункові і технічні. При потужності споживача понад 750кВ•А установка автоматизованої системи обліку активної і реактивної електроенергії є обов'язковою умовою при наявності двох і більш пунктів обліку, що характерно для більшості промислових підприємств. Відповідно до ПУЕ необхідно передбачати установку приладів технічного обліку в госпрозрахункових підрозділах, на технологічних лініях, енергоємних агрегатах для розрахунку питомих норм витрати електроенергії.

Юридичні взаємини, що оформлюються договором між енергопостачальною організацією і споживачем, визначаються Правилами користування електричною і тепловою енергією. Відповідно до договору споживач зобов'язаний забезпечити облік електроенергії, регулювати добовий графік навантаження, дотримуючись режиму електроспоживання, не перевищувати питомі норми витрати електроенергії на одиницю продукції. Економії електроенергії сприяє розробка відповідних організаційно-технічних заходів, реалізованих споживачем. При дефіциті електричної потужності й енергії в енергосистемі необхідно на виробництві вводити графіки обмежень і відключень, виконання яких обов'язково для споживача.

Показники витрати електроенергії по розрахункових періодах і питомих нормах, графіки споживання активної і реактивної потужності за характерний робочий зимовий і літній дні, витрату за добу і кожні 30 хв. під час максимуму навантаження енергосистеми й інших даних фіксуються в звітних формах споживачем і енергопостачальною організацією.

Перевищення споживачем витрати електроенергії, порушення режиму електроспоживання, зміна схем обліку електроенергії, завищення осередненої за 30 хв потужності над встановленою в години максимуму навантаження енергосистеми й інших порушень надають право енергопостачальній організації знизити, а в окремих випадках і припинити подачу електроенергії.

Розрахунки за користування електроенергією здійснюють відповідно до прейскуранта. При потужності споживача до 750 кВ·А розрахунки здійснюють по одноставочному тарифу, що враховує плату за 1 кВт·год відпущеної споживачу активної електроенергії. Споживачі з приєднаною потужністю понад 750 кВ·А розраховуються з енергопостачальною організацією по двоставочному тарифу, що передбачає основну ставку річної плати за 1 кВт заявленої максимальної потужності в період максимуму навантаження енергосистеми і додаткову ставку за 1 кВт·год відпущеної активної електроенергії. Це в значній мірі визначило необхідність створення систем обліку, контролю і регулювання електроспоживання.

Крім основної і додаткової ставки тарифи на електроенергію можуть бути диференційовані також по зонах добового графіка навантаження при наявності у споживача спеціальних приладів обліку.

Години роботи споживачів-регуляторів поза межами максимуму навантаження енергосистеми за узгодженням з енергопостачальною організацією враховуються тільки додатковою ставкою двоставочного тарифу.

Умови оплати за компенсацію реактивної потужності в електроустановках споживачів регламентуються шкалою знижок і надбавок до тарифу на електроенергію. За підвищене фактичне споживання реактивної потужності в порівнянні з заданим енергопостачальною організацією в години максимуму активного навантаження енергосистеми передбачається надбавка до оплати за електроенергію. Також передбачаються надбавки або знижки до тарифу за дотримання заданого режиму роботи пристроїв, що компенсують, у години мінімуму активного навантаження енергосистеми. Надбавка або знижка за компенсацію реактивної потужності відноситься як до заявленої потужності, так і до спожитої електроенергії.

Виходячи з ПУЕ, прейскуранта і досвіду експлуатації приладів розрахункового і технічного обліку можна сформулювати вимоги до складу функцій, що повинні бути реалізовані в системах обліку електроенергії. Крім функцій обліку електроенергії ряд автоматизованих систем здійснює також і прогнозування графіка навантаження, керування споживачами-регуляторами,

формування графічної і табличної звітності. У зв'язку з цим можливості систем доцільно розглядати по групах функцій.

Функції обліку електроенергії:

- витрата активної і реактивної електроенергії по розрахункових періодах;
- витрата електроенергії за добу і кожні 30 хв. під час максимуму навантаження енергосистеми;
- диференційований облік по зонах добового графіка навантаження;
- визначення фактичної максимальної активної потужності;
- визначення фактичного споживання реактивної потужності в години максимуму навантаження енергосистеми;
- визначення фактичного споживання реактивної потужності в години мінімуму навантаження енергосистеми;
- технічний облік електроенергії по госпрозрахункових підрозділах.

Функції керування електроспоживанням:

- контроль нормованих показників;
- прогнозування активної і реактивної потужності;
- керування в інформаційно-радному режимі;
- пряме керування споживачами-регуляторами;
- регулювання добового графіка навантаження;
- виконання графіків обмежень і відключень.

Функції документування повідомлень:

- реєстрація графіків навантаження в графічній формі;
- реєстрація графіків навантаження в табличній формі;
- роздруківка звітних документів.

Функції зв'язку з оператором:

- індикація необхідної інформації з виклику й автоматично;
- забезпечення роботи в режимі діалогу.

Функції обліку, за винятком технічного обліку електроенергії по госпрозрахункових підрозділах, відносяться до розрахункового обліку за електроенергію. Функції керування електроспоживанням і зв'язку з оператором реалізуються на підставі даних обліку витрати електроенергії і можуть бути задіяні при організації як розрахункового, так і технічного обліку.

Системи повинні мати визначені додаткові характеристики, у тому числі: ієрархічну модульну структуру; сучасне апаратне виконання; використання існуючого парку приладів обліку шляхом вбудовування в них датчиків; наявність блоків, вільно програмувальних за умовами тарифів і алгоритмів обробки інформації про електроспоживання; пристрої сполучення із системами аналогічного призначення; ущільнені канали зв'язку; канали зв'язку на основі загальнопромислової недефіцитної кабельної продукції; високу перешкодозахищеність; елементи діагностики каналів зв'язку.

Неавтоматизовані методи обліку витрати електроенергії і керування електроспоживанням вимагають значного часу для знімання показань

приладів обліку, що приводить до істотної погрішності при визначенні 30-хвилинної сполученої потужності й інших інтегральних значень.

Комплексний підхід до рішення питань керування електроспоживанням і застосування математичних методів і сучасних засобів цифрової обчислювальної техніки дозволили реалізувати ряд апаратних і програмних принципів, спрямованих на створення систем контролю, обліку і керування електроспоживанням (охоплюючий повний склад необхідних функцій) і, загалом, на економічне й ефективне енерговикористання.

### **3. Задача раціонального регулювання добового графіка активного навантаження.**

Електричне навантаження енергосистем по величині і змінам у часі залежить головним чином від суми навантажень промислових підприємств. Показаний як приклад на рис. 1 добовий графік навантаження об'єднаної енергосистеми, має явно виражені ранковий і вечірній максимуми і зону зниження навантаження на 2—3 год. у середині дня і глибокий провал навантаження протягом 6—7 год. уночі.

Навантаження вночі складає лише 50—60%  $P_{\max}$ . Причинами підвищення нерівномірності графіків навантаження енергосистем є, зокрема, розвантаження і ліквідація нічних змін і перехід багатьох промислових підприємств на однозмінну роботу при одночасному збільшенні обсягу виробництва за рахунок більш повного завантаження денних змін.

Графіки навантаження енергосистем можуть бути істотно вирівняні шляхом регулювання добових графіків навантаження промислових підприємств. Якби графік навантаження (рис. 1) був гранично вирівняний, то навантаження енергосистеми в будь-який час доби дорівнювало б її середній величині  $P_{\text{сер}}$ , обчисленої для реального графіка, при цьому максимальне навантаження системи знизилося б на 17 %  $P_{\max}$ . Відповідно знизилася б необхідна потужність електростанцій і капітальні витрати на енергетику. Практично досяжним вважається зниження вечірнього максимуму навантаження на 7—9 %  $P_{\max}$  і ранкового максимуму на 3 % за рахунок підвищення навантаження в непікові годинник на 2—3 %. Це забезпечує досить велику економію капітальних витрат в енергосистемі завдяки можливості скорочення введення нових потужностей на електростанціях на величину (рис. 1)

$$\delta P_{\max} = P_{\max} - P'_{\max}.$$

Крім того, вирівнювання графіка навантаження електростанцій приводить до зменшення питомої витрати палива і до підвищення терміну служби основного устаткування електростанцій. Частину одержуваної в енергосистемах економії необхідно затратити на здійснення заходів щодо вирівнювання навантаження промислових підприємств.

Зниження навантаження підприємств можна одержати за рахунок проведення організаційних і технічних заходів, однак їхнє виконання зв'язане



з додатковими витратами трудових ресурсів і матеріальних засобів. Тому необхідно забезпечити матеріальну зацікавленість підприємств у розвантаженні енергосистеми в години її максимумів. Цій меті служать двоставочний тариф на електроенергію, його диференціювання за часом доби, а також знижки і надбавки за режим реактивної потужності.

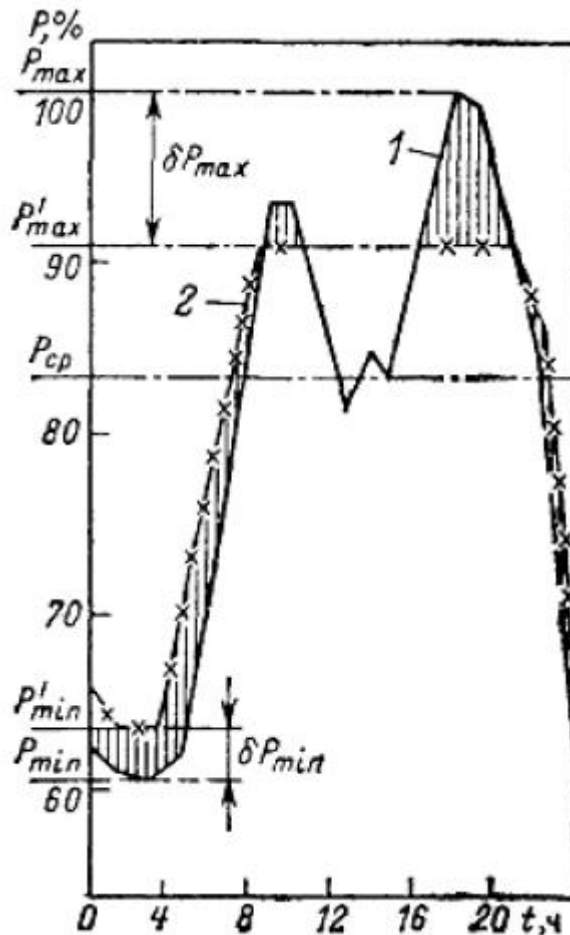


Рисунок 1 - Вирівнювання графіка навантаження промислового підприємства:

- 1 — вихідний графік навантаження;
- 2 — вирівняний графік навантаження, якому можна одержати, прийнявши заходу для регулювання електроспоживання промислового підприємства

Керування електроспоживанням на основі договірної і своєчасної інформації забезпечує вирівнювання добового графіка навантаження, що має на більшості промислових підприємств ранковий і вечірній піки. Регламентовані по кварталах години максимуму вказуються в договорі між промисловим підприємством і енергопостачальною організацією і визначають оплату за електроенергію.

З народногосподарських позицій необхідно прагнути до такого регулювання потужності в системах електропостачання, при якому виходить

мінімум сумарних витрат на виробництво і споживання електроенергії без обмежень у її споживанні. Народногосподарський

ефект виходить у результаті зменшення капіталовкладень і експлуатаційних витрат в електричні станції і мережі енергосистем унаслідок зниження встановленої потужності електростанцій і підвищення терміну служби і надійності роботи основного устаткування електростанцій завдяки зменшенню числа пусків і остановов агрегатів при вирівняному графіку навантаження.

Організаційні і технічні заходи щодо регулювання активної потужності на промислових підприємствах досить різноманітні, однак є група заходів, що може бути узагальнена для різних галузей.

Організація ремонтів енергоємних електроприймачів у години максимуму навантаження енергосистеми. Ревізії, поточний ремонт, технічне обслуговування заводських електроприймачів варто проводити в години проходження максимуму навантаження енергосистеми.

Тривалі ремонти варто планувати на період осінньо-зимового максимуму. Це дозволить розвантажити систему під час найбільшого навантаження, на яку і приходить розраховувати встановлену потужність електростанцій і районних електричних мереж.

Використання резервних агрегатів для створення запасу проміжного продукту в години зниженого навантаження дозволяє зупинити частину або всі агрегати на час максимуму навантаження системи.

Наприклад, насоси наповняють резервуари, ємність яких дорівнює 3—4-годинній витраті води. Якщо наповнити їх до настання максимуму навантаження в системі, то можна відключити всі насоси на час максимуму. При наявності резервних зарядних агрегатів для акумуляторних машин і механізмів можна уникнути зарядки виряджених акумуляторів у годинник максимуму навантаження й одержати значний ефект від регулювання потужності зарядних станцій.

Зміна ходу технологічного процесу може дати значний ефект регулювання потужності на енергоємних підприємствах. Так, на машинобудівних і приладобудівних заводах можна робити переключення індукційних установок і термопечей у режим підігріву на час максимуму навантаження. Синхронізацією режиму групи сталеплавильних печей можна пристосувати завантаження печей або інші стадії процесу зі зниженим навантаженням до періоду максимуму навантаження системи.

Установка додаткових агрегатів і монтаж додаткових ємностей промислового продукту — досить діючий захід для регулювання потужності на пром підприємствах. Установка додаткових млинів на цементних заводах, компресорів на машинобудівних заводах, на кисневих станціях, додаткових ємностей промислового продукту дозволяє істотно знизити навантаження підприємств у години максимуму системи ціною додаткових капіталовкладень у технічне забезпечення.

Для оцінки економічного ефекту вирівнювання графіка навантаження енергосистеми за рахунок регулювання споживання активної потужності промисловими електроустановками необхідно порівняти одержувану при цьому економію витрат в енергосистемі  $Z_{eo}$  з додатковими витратами на підприємствах, необхідними для забезпечення цього регулювання  $Z_p$ . Їхня різниця складе народногосподарський ефект  $Z_{nh}$  від вирівнювання графіка навантаження.

#### 4. Регулювання режиму електроспоживання при дефіциті потужності в енергосистемі.

Дефіцит потужності  $\Delta P$  в енергосистемі може виникнути раптово внаслідок аварії з відключенням генераторів електростанцій або могутніх міжсистемних ліній електропередачі, що несуть велике навантаження. З моменту виникнення дефіциту потужності починається зниження частоти, тому що порушено баланс потужності, генеруємої і споживаної в енергосистемі.

Залежність частоти  $f$  від небалансу потужності  $\Delta P$  описується рівнянням відносного руху ротора еквівалентного генератора

$$\Delta P = T_J \frac{d^2 \delta}{dt^2} = T_J \frac{df}{dt},$$

де  $T_J$  - постійна інерції еквівалентного генератора;  $\delta$  - кут вибігу ротора;  $\Delta P$  - небаланс потужності;  $d^2 \delta / dt^2 = df / dt$  - прискорення (уповільнення) руху ротора, тобто зміна частоти його обертання в часі.

Звідси одержуємо залежність частоти в системі від небалансу

$$\frac{df}{dt} = \frac{\Delta P}{T_J} \quad \text{або} \quad df = \frac{\Delta P}{T_J dt}.$$

Чим більше дефіцит генеруємої потужності в системі, тим швидше знижується частота. Для усунення небалансу потужності необхідно або зменшити навантаження системи шляхом відключення частини споживачів або збільшити генерацію шляхом введення резерву потужності на електростанціях.

На рис. 2 крива 1 показує зниження частоти в часі при відсутності резерву потужності в енергосистемі, крива 2 — при наявності недостатнього резерву, коли баланс потужності наступив при частоті 45,3 Гц. Крива 3 показує зниження частоти і наступне її відновлення після введення достатнього резерву потужності до нормального рівня 50 Гц, а короткочасне зниження частоти обумовлене запізнюванням введення резерву. Крива 4 показує зміну частоти при дефіциті потужності. Р автоматичним відключенням частини навантаження системи від дії автоматичного

частотного розвантаження (АЧР)  $\Delta P_{ач}$ , причому  $\Delta P > \Delta P_{ачр}$ , тому частота "зависає" на рівні 46,6 Гц.

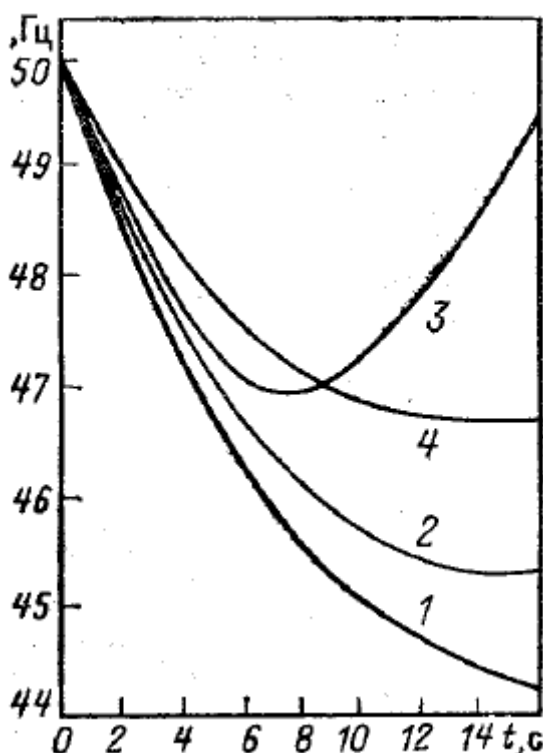


Рисунок 2 - Зміна частоти в енергосистемі при виникненні дефіциту активної потужності

Відновлення балансу потужності в системі відключенням частини навантаження виробляється або автоматично — дією АЧР, або вручну по спеціальному заздалегідь розробленому аварійному графіку. Відключення навантаження на підприємствах виробляється чергами. У першу чергу відключаються споживачі III категорії при частоті 48,5 — 48,0 Гц. При подальшому зниженні частоти спрацьовує наступна черга АЧР, що відключає частину споживачів II категорії, потім 3-я черга і т.д. до відновлення нормальної частоти. Усього від дії АЧР може відключатися до 30—40 % навантаження системи.

Якщо енергосистема має у своєму розпорядженні резерв потужності, що вводиться після дії АЧР досить швидко, то для прискореного відновлення живлення відключених АЧР навантажень ефективно застосування частотного автоматичного повторного включення (ЧАПВ), що поступово чергами (у порядку, зворотному відключенню від АЧР) включає споживачі в роботу.

Аварійне розвантаження енергосистеми персоналом підприємств вручну за графіком є корисним доповненням до АЧР. При недоліку включеного резерву потужності в енергосистемі (див. криві 2 і 4 на рис. 17.2) відбувається "зависання" частоти на низькому рівні, причому наступна черга АЧР може не спрацювати, тому що стала частота перевищує уставку спрацьовування. Відключенням споживачів за графіком частота

відновлюється. Крім того, відключення споживачів за графіком застосовується при неприпустимому зниженні напруги у вузлових точках мережі, небезпечному по статичній стійкості навантаження. Розвантаження системи дією АЧР і за аварійним графіком проводиться в основному за рахунок промислових підприємств. Тому при проектуванні їхніх систем електропостачання, необхідно приймати, що відключаються від дії АЧР і за аварійним графіком, групувати на окремих трансформаторних підстанціях, що мають пристрої АЧР або включені в аварійний графік.

Дія й установка АЧР повинні бути погоджені з АВР. У противному випадку живлення навантаження, відключеної АЧР, буде відновлено дією АВР від іншого джерела живлення, і аварійне розвантаження системи не відбудеться.

### **5. Економія електроенергії в промислових електроустановках.**

Для економії електроенергії в промислових установках застосовуються інтенсифікація й упорядкування технологічних процесів, підвищення ККД енергетичних установок, зниження втрат електроенергії.

Компресорні установки. Використовуються наступні загальні способи скорочення витрат електроенергії на забезпечення виробництва стисненого повітря:

- широке упровадження виробництва стиснутого повітря компресорами з приводом від парової турбіни (турбокомпресорами) замість компресорів з електроприводом. При цьому стиснене повітря виробляється за рахунок енергії пари;

- охолодження повітря. Чим нижче температура повітря, що надходить у компресор, тим менше витрата електроенергії на виробництво стиснутого повітря. Але тим більше витрата води на охолодження повітря перед компресорами, на одержання якої теж витрачається електроенергія. Тому повинно бути знайдене оптимальне співвідношення температури повітря і витрати охолоджуючої води;

- заміна пневматичного ручного інструмента електричним. Коефіцієнт корисної дії пневматичного ручного інструмента складає 2,5—11 %. Застосування електричного інструмента замість пневматичного дає скорочення витрати електроенергії приблизно в 8—10 разів завдяки більш високому ККД;

- скорочення витоків стиснутого повітря. Витокам стиснутого повітря через нещільності в кранах, на стиках повітропроводів, через нещільності між циліндром і поршнем пропорційні втраті електроенергії на вироблення рівної кількості стиснутого повітря.

Насосні станції. Вода для виробничих і господарсько-побутових потреб необхідна на кожному виробництві. Економія електроенергії на водопостачання забезпечується вибором оптимального тиску у водопроводі (залежного від висоти підйому), залежить від витрати води і її температури. В охолоджуваних водою установках повинна підтримуватися задана

температура. Тому для економії води потрібні автоматичні терморегулятори, що різко скорочують витрату води.

Вентиляційні установки. Витрата електроенергії вентиляційними установками на багатьох виробництвах досить значна. З метою економії електроенергії необхідно забезпечити своєчасне включення — відключення вентиляції, регулювання шиберів (засувки) на повітропроводах, блокування роботи теплової завіси з відкриванням і закриванням воріт. Важливим заходом щодо економії електроенергії, наприклад, на шахтах є упорядкування роботи головних вентиляційних пристроїв. Кількість споживаної електроенергії залежить від зміни еквівалентного отвору і, отже, від довжини підземних виробок, їхнього перетину, кріплення. Економія електроенергії може бути досягнута за рахунок вибору схеми вентиляційних шляхів, чищення вентиляційних виробок, очищення їх від непотрібного устаткування, скорочення шляху надходження повітря для провітрювання, ліквідації підсмоктувань повітря через бетонні стінки і т.д.

Освітлювальні установки. Витрата електроенергії на електроосвітлення складає 5—15 % загального електроспоживання промисловими підприємствами. Економія електроенергії на освітлення досягається правильними вибором світильників, регулюванням напруги в освітлювальній електромережі, скороченням тривалості горіння ламп протягом доби. Основні заходи щодо підвищення економічності електроосвітлення виробничих приміщень:

- застосування газорозрядних ламп (люмінесцентних і дугових ртутних) для електричного освітлення промислових цехів і приміщень. Люмінесцентні лампи і дугові ртутні лампи (ДЛР) дають світловий потік у 3—4 рази перевищуючий світловий потік ламп накаливання рівної потужності.
- вибір освітлювальної арматури, конструкція якої в значній мірі (від 0,4 до 0,8) впливають на ККД світильників і отже на витрату електроенергії;
- скорочення тривалості горіння і числа включених ламп, що досягається поліпшенням використання природного світла;
- скорочення тривалості горіння ламп зовнішнього освітлення завдяки автоматизації включення і відключення зовнішнього освітлення.

Одним з напрямків економії електроенергії в промислових установках є зниження втрат електроенергії в елементах системи електропостачання: у силових трансформаторах усіх ступіней напруги, у лініях електричної мережі, у реакторах, в установках компенсації реактивної потужності. Великі і різнобічні можливості економії електроенергії реалізуються заходами, які можна підрозділити на конструктивні й експлуатаційні.

До конструктивних заходів відносяться: заміна декількох трансформаторів більш потужними; заміна раніше обраних проводів ЛЕП проводами більшого перетину; установка компенсуючих пристроїв (КП) реактивної потужності біля електроприймачів для розвантаження мережі від реактивної потужності і для підвищення рівнів напруги;

переведення мереж на наступні ступені номінальної напруги - 380 на 660 В, 6 на 10 кВ, 10 на 20 кВ.

Експлуатаційні заходи щодо зниження втрат електроенергії, як заходи, які не потребують додаткових капіталовкладень, повинні здійснюватися в першу чергу. В елементах мереж внутрішнього електропостачання для економії електроенергії в процесі їх експлуатації необхідно забезпечувати рівномірність завантаження обох кіл живильної мережі (трансформаторів і ліній зовнішнього електропостачання) своєчасним перерозподілом навантаження між секціями; своєчасним відключенням мало завантажених трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій для зменшення втрат у сталі; максимально можливим підвищенням рівня експлуатаційної напруги (крім освітлювального навантаження); усунення розходження напруги на секціях розподільної мережі; своєчасне включення і відключення пристроїв компенсації реактивних навантажень і т.п.

Одним з найважливіших заходів економії електроенергії в мережах є підвищення рівня експлуатаційної напруги до максимально припустимого рівня (до  $1,05 U_{ном}$ ). Підвищення напруги в мережі приводить до зниження втрат потужності пропорційно квадратові напруги в струмоведучих частинах. Але підвищення напруги приводить до зростання втрат у сталі електричних машин і до збільшення споживання активної і реактивної потужності. По статичним характеристикам залежності  $P$  і  $Q$  від напруги (рис. 3) знаходимо, що при підвищенні напруги на 1 % активне навантаження зростає на 1 % і реактивне — на 3 %.

Втрати електроенергії в лініях електричної мережі складають значну частину сумарних втрат у всій системі електропостачання.

Одним із заходів щодо зменшення втрат у лініях є включення в роботу всіх ліній: у схемі не повинно бути ліній тільки резервних.

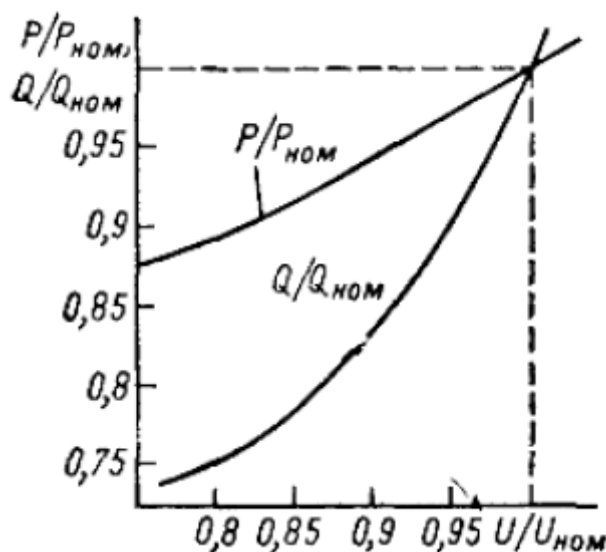


Рисунок 3 - Статичні характеристики залежності активного і реактивного навантажень у системі від напруги.

Рекомендується включення трансформаторів на постійну паралельну роботу при наявності технічної можливості такої роботи за струмом КЗ і за умовами роботи захисту, це розглядається як діючий захід щодо зниження втрат електроенергії і по поліпшенню якості електроенергії.

Важливим заходом щодо економії втрат в електричних мережах є своєчасне відключення в резерв трансформаторів цехових підстанцій при зниженні їхнього навантаження і включення при зростанні навантаження. З тією ж метою передбачаються обмеження часу холостого ходу пічних і зварювальних трансформаторів відключенням їх у періоди розвантаження. Трансформатори цехових підстанцій звичайно зв'язані попарно через перемички і секційні автоматичні вимикачі.

Визначимо, при якому навантаженні доцільно залишати в роботі один трансформатор, а другий відключити в резерв. Втрати активної потужності в одному трансформаторі дорівнюють:

$$\Delta P_1 = \Delta P_c + \Delta P_{m,ном} \frac{I_p^2}{I_{ном}^2},$$

де  $\Delta P_c$  — втрати в сталі (втрати холостого ходу) трансформатора;

$\Delta P_{m, ном}$  -втрати в міді (втрати КЗ) трансформатора при номінальному струмі  $I_{ном}$ ;  $I_p$  - розрахункове навантаження.

Тоді при сумарному струмі  $n$  трансформаторів (розглянемо загальний випадок) втрати в однакових включених трансформаторах

$$\Delta P_n = n\Delta P_c + n\Delta P_{m,ном} \left( \frac{I_{p\Sigma}}{nI_{ном}} \right)^2 = n\Delta P_c + \frac{\Delta P_{m,ном}}{n} \left( \frac{I_{p\Sigma}}{I_{ном}} \right)^2,$$

де  $I_{p\Sigma}$  — сумарний струм у  $n$  трансформаторах.

При відключенні одного трансформатора втрати складають

$$\Delta P_{n-1} = (n-1)\Delta P_c + \frac{\Delta P_{m,ном}}{n-1} \left( \frac{I_{p\Sigma}}{I_{ном}} \right)^2.$$

Отже, при відключенні одного трансформатора, хоча струм  $I_{p\Sigma}$  і не змінився, відбулася зміна втрат:

$$\Delta P_n - \Delta P_{n-1} = \Delta P_c - \frac{\Delta P_{m,ном}}{n-1} n \left( \frac{I_{p\Sigma}}{nI_{ном}} \right)^2 = \Delta P_c - \frac{n}{n-1} \Delta P_{m,ном} \beta^2,$$

де  $\beta = I_{p\Sigma}/I_{ном}$  — коефіцієнт завантаження  $n$  включених трансформаторів.

Відключення одного трансформатора вигідно, якщо



$$\beta < \sqrt{\frac{\Delta D_n}{\Delta D_{i, iii}} \frac{n-1}{n}}.$$

За паспортними даними легко визначити навантаження, при якому варто змінити число включених трансформаторів. При  $n = 2$  при співвідношенні  $\Delta P_c / \Delta P_{m \text{ ном}} = 1/3$ . Для цехових трансформаторних підстанцій вигідно відключити один трансформатор із двох у резерв при  $\beta < 0,4$ , тобто при навантаженні меншому 40 % від номінального.

#### Контрольні питання

1. Плонова та питома витрати енергії.
2. Що таке розрахунковий облік електроенергії?
3. Де встановлюють розрахункові лічильники?
4. Для чого служить технічний (контрольний) облік електроенергії?
5. Що таке двоставочний тариф оплати за електроенергію?
6. У яких випадках застосовують двоставочний тариф оплати за електроенергію?
7. Що таке одноставочний тариф?
8. Перелічіть основні шляхи економії електроенергії.
9. Керування електроспоживанням.
10. Регулювання добовим графіком активного навантаження.
11. Залежність частоти в системі від небалансу потужності.