

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет
будівництва, транспорту та
енергетики

Кафедра електротехнічних
систем та енергетичного
менеджменту

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА АУДИТ

*методичні рекомендації до виконання практичних робіт
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі спеціальності
141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"
ОПП "Енергетичний менеджмент"*



Кропивницький
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет
будівництва, транспорту та
енергетики

Кафедра електротехнічних
систем та енергетичного
менеджменту

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА АУДИТ

*методичні рекомендації до виконання практичних робіт
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі спеціальності
141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"
ОПП "Енергетичний менеджмент"*

Затверджено
на засіданні кафедри
електротехнічних систем та
енергетичного менеджменту
Протокол № 1 від 28.08.2023 р.

Кропивницький
2023

Енергетичний менеджмент та аудит: методичні рекомендації до виконання практичних робіт для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка", ОПП "Енергетичний менеджмент" / [уклад.: П. Г. Плешков, К. Г. Петрова, В. П. Солдатенко, О. І. Сіріков], Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023 – 62 с.

Укладачі:

П. Г. Плешков – канд. техн. наук, проф., завідувач кафедри ЕТС та ЕМ
К. Г. Петрова – канд. техн. наук, доцент кафедри ЕТС та ЕМ
В. П. Солдатенко – канд. техн. наук, доцент кафедри ЕТС та ЕМ
О. І. Сіріков – канд. техн. наук, доцент кафедри ЕТС та ЕМ

Рецензент: С. І.Осадчий – доктор технічних наук, професор, професор кафедри КПСАД та ПЛП Льотної академії Національного авіаційного університету

© Плешков П.Г., Петрова К.Г.,
Солдатенко В.П., Сіріков О.І. 2023
© Центральноукраїнський
національний технічний
університет, 2023

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
Практична робота №1. Порівняння джерел гарячого водопостачання: електричний бойлер та централізована мережа.....	7
Практична робота №2. Оцінка доцільності установки газового обладнання на автомобіль	15
Практична робота №3. Розрахунок енергопотреби та енергоспоживання квартирою (будинком).....	28
Практична робота №4. Порівняння джерел теплопостачання: автономне опалення та централізована мережа	35
Практична робота №5. Вибір доцільного енергоносія для теплопостачання..	42
Практична робота №6. Визначення економічно доцільного рівня компенсації реактивної потужності.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	62

ВСТУП

Основним джерелом енергії у світі є органічні види палива, запаси, яких обмежені. За оцінками багатьох фахівців, вони можуть бути витрачені за кілька десятків років при сучасних інтенсивних методах видобутку. Поряд з пошуком нових джерел енергії глобальною проблемою стає визначення шляхів економії паливно-енергетичних ресурсів за всім ланцюжком від видобутку палива до місць використання його потенційної енергії. Тому питання економії палива та енергії поставлено на найвищій рівень державної політики.

Досвід функціонування окремих промислових зон у країнах Східної Європи і Росії свідчить про можливість економії на останньому етапі споживання до 30% енергоресурсів без будь-яких додаткових витрат і до 50% при порівняно невеликих капітальних вкладеннях. Ця галузь економіки стає привабливою для бізнесу будь-якого рівня.

Коло інтересів енергоменеджера складають: питання енергозбереження; формування тарифів на електро- і теплову енергії; розвиток оптового ринку енергії; інвестиції в промислову і малу енергетику; підвищення ефективності використання енергії на промислових підприємствах тощо.

Засвоїти “ази” в галузі обґрунтування, реалізації методів енергозбереження, управління енергетичним господарством з метою економії паливної складової в собівартості продукції та розвитку тенденції на удосконалення використання енергетичних ресурсів допоможуть практичні заняття.

Методичні вказівки призначені для практичних занять з курсу «Енергетичний менеджмент та аудит» для здобувачів вищої спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Енергетичний менеджмент».

Кожна тема містить короткі теоретичні відомості, приклад розрахунку та завдання для самостійної роботи.

ПОРІВНЯННЯ ДЖЕРЕЛ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Електроводонагрівач — електричний водонагрівач, пристрій для нагрівання води за рахунок енергії, що одержують з електромережі, (теплова дія струму) з метою подальшого використання в технологічних, господарських, санітарно-гігієнічних або побутових цілях. У багатьох країнах Європи встановлювані індивідуально у квартирах електроводонагрівачі заміняють собою відсутнє централізоване гаряче водопостачання. Електроводонагрівачі зазвичай використовуються в індивідуальному житловому будівництві при відсутності централізованого газопостачання, а також як резервне джерело гарячої води в період літніх профілактичних відключень.

По конструкції електроводонагрівачі поділяють на накопичувальні й проточні.

Накопичувальні електроводонагрівачі

Накопичувальний (ємнісний) водонагрівач, або бойлер (від англ. boiler) являє собою порівняно велику ємність із розміщеним у ній або, рідше, під нею, джерелом тепла. Найчастіше в ролі джерела тепла виступає ТЕН.

Водонагрівальна ємність зовні захищена шаром теплоізоляції й захисним кожухом. Стандартна товщина — 50 мм для невеликих баків (до приблизно 200 л), 100 мм — для великих баків. Теплоізоляцію традиційно виготовляють із твердого спіненого поліуретану (тверда ізоляція) або поролону (м'яка, зйомна ізоляція). У водонагрівачах великих обсягів (від 1000 л) теплоізоляція зазвичай поставляється окремо від баку, це дозволяє зменшити габарити виробу (для полегшення його транспортування).

Зовні до нагрівального елемента приєднують пульт керування, що обов'язково включає керування температурою. Як правило, це біметалічний термостат. Діапазон установки температури на термостаті: від 30 до 85°C. Залежно від виробника й моделі припустимий діапазон може змінюватися.

Електроводонагрівачі закритого типу

Такі водонагрівачі постійно підключені до водогінної мережі, внутрішня ємність постійно перебуває під її тиском.

Бойлер закритого типу можна використовувати в системі централізованого водопостачання декількох водорозбірних точок, при цьому допускається використання як звичайної водорозбірної арматур (одноважільних і

двохвентильних змішувачів), так і спецзмішувачів для водонагрівачів відкритого типу.

Для того, щоб уникнути пошкодження ємності через підвищення тиску, що виникає в результаті розширення води при нагріванні, разом з бойлером може застосовуватися бак-експанзомат (розширювальний бак) або група безпеки, що складається із запобіжного, скидувального й зворотного клапанів, при необхідності також доповнюється редуктором тиску, манометром, термозмішувачем. При підвищенні тиску вище номінального значення запобіжного клапана відкривається пружинна засувка, і зайва вода стравлюється в каналізацію. Зворотний клапан заважає воді, що розширилася і має більш високий тиск порівняно з холодною водою, піти назад у холодну трубу. Група безпеки розміщується на патрубку, безпосередньо на вході в бойлер.

Електроводонагрівачі відкритого типу (безнапірні, низького тиску)

Водонагрівач відкритого типу може постачати тільки одну водорозбірну точку й тільки за допомогою спеціальної водорозбірної арматури (спецзмішувач). Основним принципом дії такої арматури є перекривання води, що знаходиться під тиском, не на виході, а на вході в бойлер. Це дозволяє виготовляти ємність із не таких міцних матеріалів, найчастіше пластмаси. Спецзмішувач також виконує роль групи безпеки, стравлюючи в раковину надлишкову воду при розширенні під час нагрівання.

Принцип дії

При відкритті крана нагріта у водонагрівальній ємності вода надходить у водорозбірну мережу, поступово заміщаючись у баку холодною водою. Коли запас гарячої води вичерпується, і з крана починає йти вже прохолодна вода, потрібно почекати, поки бойлер знову прогріється. Нагрівання включається, коли термодатчик реєструє в баку температуру нижче встановленої, незалежно від наявності або відсутності водорозбору.

Поняття «безнапірний електроводонагрівач» зовсім не означає, що ємність можна попередньо заповнити, а потім відключити від джерела водопостачання й витратити воду доти, поки бак не спорожніє. При відкритті крана, ця вода надходить у водорозбірну мережу, поступово заміщаючись у баку холодною водою.

Для того, щоб водорозбір стався, і гаряча вода полилася з бака, холодна вода повинна подаватися в ємність під тиском. При цьому сам бак буде повністю заповнений водою в будь-який момент часу. Якщо напір на вході відсутній, вода фізично не зможе вийти назовні, тому що трубка для виходу

гарячої води відкривається в самій верхній точці бойлера (незважаючи на те, що із зовнішньої сторони водонагрівача штуцер гарячої води може знаходитись де завгодно, навіть у дні баку).

Холодна вода, навпаки, подається знизу, при цьому на кінці штуцера встановлений розсікач, у результаті чого вода, що надходить, як би «стелиться» по дну ємності. Нагрівальний елемент також розташований унизу. У результаті за рахунок природної конвекції здійснюється поступове збільшення температури по висоті ємності, і вже нагріта вода не змішується з холодною.

РОЗРАХУНКИ

Визначити час нагрівання води в ємнісному водонагрівачі можна, користуючись стандартними фізичними формулами розрахунків питомої теплоємності й потужності як швидкості зміни енергії:

$$c = \frac{Q}{m\Delta t}. \quad (1.1)$$

де c – питома теплоємність води, що дорівнює 4183 Дж/кг·К;

Q – кількість теплоти, яку отримує речовина при нагріванні, Дж;

m – маса речовини, що нагрівається (охладжується), м;

Δt – різниця кінцевої і початкової температур речовини, К (t_2 – температура нагрітої води, °С, t_1 – початкова температура холодної води, °С).

$$N = \frac{Q}{\tau}. \quad (1.2)$$

де N – потужність нагрівання, Вт;

τ – проміжок часу, за який відбувається нагрівання, сек.

Для великих обсягів і незначної потужності нагрівального елемента, а також у ємностях без теплоізоляції важливим може виявитися параметр тепловтрат, що виражається у Вт·г/доба. Ця величина заявлена в технічній документації до виробу. Її необхідно перевести в одиниці СІ, тобто Вт·г/сек. (поділити на 86400) и вирахувати з електричної потужності нагрівального елемента:

$$N = N_{full} - Q_c. \quad (1.3)$$

де N_{full} – потужність нагрівального елемента, Вт;

Q_c – теплові втрати водонагрівачів ємності, Вт·г/сек. Оскільки в побутових водонагрівачах ємністю до 1000 л теплові втрати не перебільшують 1,5 кВт·г/добу., що дорівнює 0,02 Вт·г/сек, тепловтрати як правило нехтують.

Підсумковий варіант для розрахунків виглядає так:

$$\tau = \frac{cm(t_2 - t_1)}{N_{full} - \frac{Q_c}{86400}}. \quad (1.4)$$

Ця універсальна формула може дати відповіді на поширені питання, що виникають при доборі й експлуатації водонагрівачів, такі як:

Скільки часу буде потрібно для нагрівання води в бойлері до певної температури?

Яка потужність нагрівального елемента зможе забезпечити необхідну швидкість нагрівання?

Який обсяг водонагрівальної ємності потрібний для комфортного забезпечення потреб?

Для відповіді на ці питання використовувати виведений з універсальної формули вираз (оскільки потрібен не окріп, а розведена вода):

$$cm_2(t_3 - t_2) + cm_1(t_3 - t_1) = 0. \quad (1.5)$$

де індекси 1, 2 і 3 позначають холодну, нагріту в бойлері й змішану воду відповідно.

ПОБУТОВІ РОЗРАХУНКИ

У побуті можна користуватися також:

– похідну від описаної формули фразу: 1 кВт за 1 годину нагріває 860 літрів води на 1 градус;

– адаптованою емпіричною формулою, по якій час /(в годинах), необхідний для повного нагрівання води в баку накопичувального водонагрівача, визначається в такий спосіб:

$$T = 0,00117 \frac{V(t_2 - t_1)}{W}. \quad (1.6)$$

де V – обсяг баку (л);

t_2 – температура нагрітої води (зазвичай 60°C);

t_1 – вихідна температура холодної води;

W – електрична потужність нагрівального елемента (кВт).

Необхідний обсяг баку водонагрівача (у літрах) можна приблизно оцінити, виходячи з нижчеподаної таблиці:

Місце застосування	Кількість людей у родині				
	1	2	3	4	5
Мийка	5–10	15	15	30	30
Душ	30	50	80	100	120
Мийка + душ	50	80	100	120	150
Ванна	100	150	200	250	300

Практичне заняття № 2

УСТАНОВКА ГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ НА АВТОМОБІЛЬ

Найбільш поширеним і з найкращим співвідношенням ціни і якості на даний момент прийнято вважати ГБО четвертого покоління, яке характеризується розподіленням синхронізованим впорскуванням газу.

Ціна самої системи і роботи з встановлення залежить від виробника ГБО і технічних характеристик вашого авто (кількості циліндрів). Найбільш економний варіант - поєднання польських і італійських комплектуючих. (Довідково: майже скрізь мені пропонували на вибір два варіанти: або італійське обладнання за 1500 доларів, або "збірний комплект" - польський блок управління Stag та італійська "механіка" за 900-1000 доларів.)

Згідно з розрахунками спеціальних калькуляторів, витрати з установки ГБО на мій автомобіль гіпотетично повинні окупитися приблизно за 16 місяців.

Установка ГБО займає кілька годин (як правило, не більше одного робочого дня), гарантія на обладнання зазвичай сильно відрізняється - від 1,5 років з обмеженням пробігу і аж до 4 років без обмежень.

При витраті бензину на рівні 10 і менше літрів ГБО окупиться в середньому не менш ніж за 2 роки.

Розрахунок окупності установки ГБО на конкретному прикладі Mitsubishi Pajero Sport 3.0l V6/

Техніко-економічний розрахунок установки газобалонного обладнання

Стаття витрат	Витрати (-))/економія (+) грн.	Вхідні дані і розрахунки
Вартість ГБО і його установки	-7200	"Збірний комплект: "Stag + Tomasetto
Заміна свічок запалювання (рекомендується при переході на газ)	- 810	Платинові свічки по 135 грн/шт.

Економія на паливі (за 2 місяці експлуатації)	+ 882	Ввідні: Витрата бензину в змішаному циклі - 12 л/ 100 км Розрахункові витрати газу - на 20% більше Ціна 1 літра бензину - 10,25 грн. Ціна літра газу - 5,99 грн. Середній пробіг за місяць - 1 200 км Формула розрахунку місячної економії: (Ціна 1 л бензину - Ціна 1л газу x1.2)x Пробіг за місяць x Витрата на 100км/100 Розрахунок: (10,25 - 5,99*1,2)*1200*12/100= 441грн/міс
Витрати на 20% від газового балона, які ніколи не будуть використані	- 86	Тороїдальний балон на 72 літра. 20%*72л*5,99грн = 86 грн.
Витрати на реєстрацію ГБО в МРЕВ	-	Відсутні, оскільки автомобіль змінив власника й у будь-якому випадку проходив би перереєстрацію в МРЕВ (до речі, не забудьте уточнити у майстрів, чи входить у ціну їх послуг підготовка відповідних документів. Якщо не входить, то додайте

		до названої суми ще близько 250-300 грн). В іншому випадку витрати склали б близько 600 грн.
Разом	-7214	

УСТАНОВКА КОМПЕНСУЮЧОГО ПРИСТРОЮ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Розрахунок потужностей компенсуючих пристроїв з вибором типу та місця та розташування батарей конденсаторів.

Короткі теоретичні відомості.

Електрична мережа є одним цілим, тому правильний вибір засобів компенсації для мереж підприємств напругою до 1000 В, а також в мережі 6-10 кВ можна виконати тільки при сумісному виконанні цих задач.

На промислових підприємствах основні споживачі реактивної потужності приєднують до мереж до 1000 В. Компенсація реактивної потужності споживачів може виконуватись за допомогою синхронних двигунів (СД) або батарей конденсаторів (БК), які приєднані до мереж до 1000 В, або реактивна потужність може передаватись в мережу до 1000 В із сторони 6-10 кВ від СД, БК, від генераторів ТЕЦ або мережі енергосистеми. Джерела реактивної потужності напругою 6-10 кВ економічніші відповідних реактивної потужності напругою джерел до 1000 В, але передача реактивної потужності в мережу до 1000 В може привести до збільшення числа трансформаторів і збільшення втрат енергії в мережі та трансформаторах. Тому спочатку треба вибрати оптимальний варіант компенсації реактивної потужності на стороні до 1000 В.

Можливі дві умови вибору потужності та напруги компенсуючи пристроїв.

Велике підприємство з великою кількістю трансформаторів.

Передача реактивної потужності зі сторони мережі 6-10 кВ в мережу до 1000 В може привести до збільшення числа встановлюємих трансформаторів. В цьому випадку мінімально можливе число трансформаторів n_0 при $\cos \varphi = 1$

$$n_0 = \frac{P}{\beta \cdot S_{\text{НОМТР}} \cdot \cos \varphi}$$

де: P – сумарна активна потужність в мережах до 1000 В: А

β – коефіцієнт завантаження:

$S_{\text{ном тр}}$ – номінальна потужність одного трансформатора.

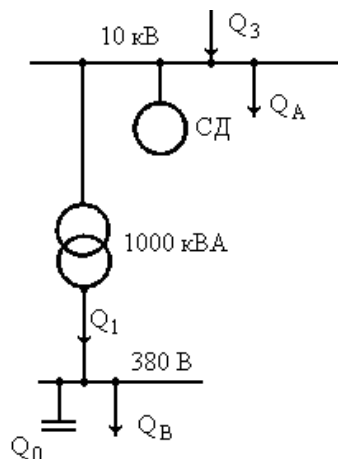


Рис. 3.1. Включення компенсуючого пристрою при декількох трансформаторах.

Збільшення числа трансформаторів на один чи два проти розрахункового не приведе до зміни сумарних втрат.

Найбільша реактивна потужність, яка може бути передана із мережі 6 -10 кВ в мережу до 1000 В без збільшення числа вибраних трансформаторів в МВАр

$$Q_1 = \sqrt{(n_0 \cdot \beta \cdot S_{\text{номт}})^2 - P^2}$$

Далі розглядаються варіанти із збільшенням числа трансформаторів на один або два в порівнянні з мінімально можливим їх числом n_0 та визначаються розрахункові затрати для кожного варіанту. При цьому для першого варіанту враховуються затрати на генерацію реактивної потужності на 6–10 кВ та затрати на встановлення БК в мережі до 1000 В, потужність яких необхідна для балансу реактивних потужностей в цих мережах. Для варіантів з підвищеним числом трансформаторів враховують допоміжні затрати на їх установку.

Підприємство з невеликою кількістю встановлюємих трансформаторів.

Якщо на підприємстві встановлюється один або два трансформатори 6 - 10/0.4 кВ, то при зміні ступені компенсації реактивної потужності в мережі до 1000 В число трансформаторів не може бути змінено через умови електронадійності і т. п. Тоді, зберігаючи метод розрахунку, визначається не мінімально можлива кількість трансформаторів, а мінімально можлива потужність трансформаторів (МВА)

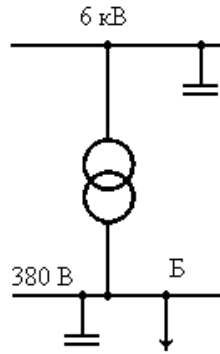


Рис. 3.2. Включення компенсуючого пристрою при одному або двох трансформаторах.

$$S_o = P / (\beta \cdot \cos \varphi)$$

Після цього порівнюють варіанти встановлення трансформатора з мінімально можливою потужністю трансформатора на ступінь вище.

Визначення компенсуючої реактивної потужності

При виборі компенсуючих пристроїв підтверджується необхідність їх комплексного використання як для підтримки режиму напруги в мережах так і для компенсації реактивної потужності.

Потужність Q_k компенсуючого пристрою визначається як різниця між фактичною реактивною потужністю Q_m навантаження підприємства та межевою реактивною потужністю Q_e , яка надається

підприємству енергосистемою по умовам режиму її роботи:

$$Q_k = Q_m - Q_e = P_m (\tan \varphi_m - \tan \varphi_e)$$

де: $Q_m = P_m \tan \varphi_m$;

P_m – потужність активного навантаження підприємства в часи максимуму, яка приймається по середній розрахунковій потужності $P_{зм}$ найбільш вантаженої зміни кВт;

$\tan \varphi_m$ – фактичний тангенс кута, який відповідає потужностям P_m , Q_m ;

$\tan \varphi_e$ – оптимальний тангенс кута, який відповідає встановленим підприємству умовами отримання від енергосистеми навантажень P_m , Q_m .

Хід роботи:

- Визначаємо реактивну потужність БК на стороні 10 кВ. Q_1
- Потужність БК на стороні 380 В для повної компенсації реактивної потужності ($\cos \varphi = 1$) Q_2

Приклад.

Для покриття навантаження $P = 0,9$ мВт, $Q = 0,8$ МВАр. на підприємстві встановлений один силовий трансформатор 10/0,4 кВ, коефіцієнт завантаження якого $\beta = 1$ і $\cos \varphi = 1$. Компенсація реактивної потужності може бути виконана

встановленням батарей конденсаторів БК на стороні 10 кВ або на стороні 380 В. Визначити оптимальну потужність трансформатора та БК на 10 кВ і 380 В.

Розрахункові дані: Для БК на 10 кВ вартість ввідного пристрою: Z_0 - 670 грн, вартість компенсуючого пристрою на стороні 10 кВ $Z_{11} = 1600$ грн/МВАр., вартість компенсуючого пристрою на стороні 380В $Z_{10} = 3000$ грн/МВАр.

Розв'язок;

1. Визначаємо мінімальну можливу потужність трансформатора $S_{\text{ном}}$

$$S_{\text{ном}} = P / \beta \cdot \cos\varphi \quad S_{\text{ном}} = 0,9/1 \cdot 1 = 0,9 \text{ МВА}$$

де: P - задана потужність трансформатора $P = 0,9$ мВт;

β – коефіцієнт завантаження трансформатора $\beta = 1$;

$\cos\varphi = 1$.

Приймаємо ближню більшу потужність силового трансформатора 1000 кВА.

2. Порівнюємо варіанти встановлення трансформаторів з мінімально можливою потужністю S_0 і потужність трансформатора на ступінь вище:

І варіант: Встановлення БК на стороні 10 кВ і на стороні 0,38 кВ: $S_T = 1000$ кВА.

1. Визначаємо реактивну потужність БК на стороні 10 кВ.

$$Q_1 = \sqrt{(N\beta S_T)^2 - P^2}; \quad Q_1 = \sqrt{(1 \cdot 1 \cdot 1000)^2 - 0,9^2} = \sqrt{1 - 0,81} = \sqrt{0,19} = 0,43 \text{ МВАр}$$

де: N – кількість трансформаторів 1;

β – коефіцієнт завантаження трансформатора $\beta = 1$;

S_T – номінальна потужність трансформатора $S_T = 1000$ кВА.

2. Потужність БК на стороні 380 В для повної компенсації реактивної потужності ($\cos\varphi = 1$)

$$Q_2 = Q - Q_1 \quad Q_2 = 0,8 - 0,43 = 0,37 \text{ МВАр}$$

де: Q – задана реактивна потужність $Q = 0,8$ МВАр;

Q_1 – реактивну потужність БК на стороні 10 кВ;

Q_2 – потужність БК на стороні 380 В

Розрахункові дані по 1 варіанту:

$$Z_1 = Z_0 + Z_{11} \cdot Q_1 + Z_{10} \cdot Q_2$$

$$Z_1 = 670 + 1600 \cdot 0,43 + 3000 \cdot 0,037 = 2468 \text{ грн.}$$

Затрати на компенсацію реактивної потужності по 1 варіанту 2468 грн.

2 варіант: Встановлення БК на стороні 10 кВ.

1. Визначаємо реактивна потужність БК на 6 кВ $S_T = 1600$ кВА

$$Q_1 = \sqrt{(N\beta S_T)^2 - P^2} \quad Q_1 = \sqrt{(1 \cdot 1 \cdot 1600)^2 - 0,9^2} = \sqrt{1,6^2 - 0,9^2} = \sqrt{1,75} = 1,32 \text{ МВАр}$$

1,32 МВАр > 0,8 МВАр, тому приймаємо $Q_1 = 0,8$ МВАр. В цьому випадку компенсуючого пристрою на сторону 0,38 кВ не потрібно, $Z_{10}=0$

Розрахункові дані по 2 варіанту:

$$Z_2 = Z_0 + Z_{11} \cdot Q_1 + P_n \cdot k$$

де: P_n – коефіцієнт амортизаційних відрахувань 0,223

Δk – різниця вартості трансформаторів потужністю 1600 кВА та 1000 кВА.

$$\Delta k = 6600 - 4800 = 1800 \text{ грн.}$$

$$Z_2 = 670 + 1600 \cdot 0,8 + 1800 \cdot 0,223 = 3065 \text{ грн.}$$

Затрати на компенсацію реактивної потужності по 2 варіанту 3065 грн.

3 варіант: Встановлення БК на 0,38 кВ при мінімально можливій потужності трансформатора:

$S_t = 1000 \text{ кВА}$ Реактивна потужність компенсуючого пристрою $Q_0 = 0,8$ МВАр, тобто всю реактивну потужність компенсуємо на стороні 0,38 кВ.

Розрахункові затрати становлять:

$$Z_3 = Z_{10} \cdot Q_0 = 3000 \cdot 0,8 = 2400 \text{ грн.}$$

Затрати на компенсацію реактивної потужності по 3 варіанту 2400 грн.

Отже, з трьох варіантів затрати на компенсацію самі менші в 3 варіанті, він і є оптимальним.

Завдання до практичної роботи № 3

№ варіан	Sном тр.	Kз	Кількі сть тр-	P кВ	Q кВ	Вартість трансформат
1	1000	0.7	1	52	440	4.8
2	1000	0.7	1	66	540	4.8
3	400	0.6	2	30	250	2.7
4	630	0.6	2	35	270	3.6
5	1000	0.7	2	57	450	4.8
6	1000	0.7	2	60	800	4.8
7	1600	0.6	1	75	820	6.6
8	160	0.8	1	10	10	1.54
9	160	0.7	2	12	80	1.54
10	400	0.6	2	25	120	2.7
11	400	0.7	2	23	100	2.7
12	250	0.7	2	22	100	1.93
13	630	0.7	2	32	290	3.6
14	1000	0.9	1	79	860	6.6
15	1000	0.8	1	58	750	4.8
16	250	0.8	1	16	140	1.93
17	400	0.8	1	32	410	2.7
18	630	0.8	1	54	490	3.6
19	630	0.7	1	62	240	3.6
20	100	0.8	1	60	940	4.8
21	1000	0.7	2	60	750	4.8
22	630	0.7	2	58	430	3.6
23	630	0.8	1	32	540	3.6
24	400	0.8	2	48	290	2.7
25	1000	0.8	1	36	380	4.8
26	400	0.6	2	76	100	2.7
27	630	0.7	2	31	200	3.6
28	160	0.9	1	51	830	1.54
29	1000	0.7	1	25	650	4.8
30	1600	0.7	1	38	220	6.6

ПОРІВНЯННЯ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Аквапарк - це складне відособлене інженерне спорудження з високим енергоспоживанням.

Виберемо на стадії проектних робіт найбільш оптимальну схему енергопостачання будинку аквапарка на основі технічних і економічних показників.

Проектована встановлена потужність струмоприймачів складає 1850 кВт. При коефіцієнті одночасної роботи устаткування до $k=0,6$ потужність споживачів складає 1110 кВт. Мінімальне навантаження споживачів електричної енергії складає 350 кВт. Максимальне годинне навантаження споживачів теплової енергії аквапарка складають 4 Гкал/год, з них: 1,3 Гкал/год - на опалення; 0,9 Гкал/год - на гаряче водопостачання; 1,8 Гкал/год - на вентиляцію. Річні потреби в енергоресурсах аквапарка складають: електрична енергія - 7238000 кВт·год, тепла енергія - 12240 Гкал.

Порівняємо наступні варіанти енергопостачання аквапарка.

Автономне енергопостачання на базі міні ТЕЦ.

Автономне енергопостачання на базі міні ТЕЦ і газової котельні.

Автономне теплопостачання на базі газової котельні і централізоване електропостачання.

Централізоване енергопостачання.

У першому варіанті, як джерело електро- і теплопостачання, пропонується використовувати міні ТЕЦ на базі когенераційної газопоршневої установки (когенерація - спільне вироблення електричної і теплової енергії). На рис. 4.1 приведена схема енергопостачання на базі міні ТЕЦ.

Розберемо докладніше склад устаткування, пропонованого до установки. Основу когенераційної газопоршневої міні ТЕЦ складають два газогенераторних модулі марки JMS-616 фірми Jenbacher (Австрія).

Електрична потужність двох агрегатів складає 3892 кВт, тепла потужність - 3,75 Гкал/год.

Таким чином, загальна тепла та електрична потужність двох установок складає 8044 кВт. Загальна необхідна тепла та електрична потужність аквапарка складає 5761 кВт, максимальна встановлена потужність споживачів електричної і теплової енергії складає 6501 кВт. Коефіцієнт завантаження при

номінальному навантаженні складає 0,71, при максимальному завантаженні - 0,81.

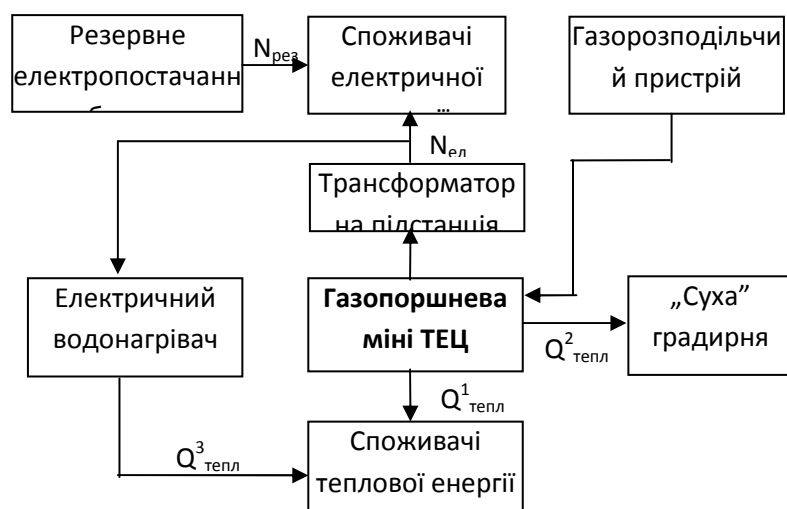


Рис. 4.1. Схема енергопостачання на базі газопоршневої міні

Газогенераторний модуль поставляється в наступній комплектації: газопоршневої двигун з електрогенератором; каталізатор; система утилізації тепла (70/90°C); насосне устаткування; система аварійного охолодження, що складає з пластинчастого теплообмінника, "сухої" градирні і система керування. Для забезпечення необхідного тиску газу модуль комплектується газовим компресором. Генератор виробляє електричну енергію напругою 6,3 кВ (10 кВ). Для постачання споживачів електроенергією напругою 400 В необхідна трансформаторна підстанція.

Зі схеми теплопостачання видно, що максимальне теплове навантаження споживачів тепла складається з $Q^1_{\text{тепл}}$ і $Q^3_{\text{тепл}}$. Це зв'язано з тим, що в установках даного типу вироблювана кількість тепла прямо залежить від кількості вироблюваної електрики. Оскільки в даній статті розглядається тільки варіант забезпечення власних потреб аквапарка, для покриття максимального теплового навантаження необхідно частина зробленої електричної енергії перетворити в теплову енергію. Для цього в схемі енергопостачання передбачена система електричних водонагрівачів, наприклад, гідродинамічні генератори.

У літній період, коли теплове навантаження мінімальне (тільки на потреби гарячого водопостачання), надлишки тепла $Q^2_{\text{тепл}}$ приділяються в навколишнє середовище в "сухій" градирні.

Переваги схеми енергопостачання на базі міні ТЕЦ.

1. Забезпечує повне автономне постачання електричною і тепловою енергією комплекс аквапарка.

Недоліки схеми енергопостачання на базі міні ТЕЦ.

1. Невисокий ККД установки.
2. Велика потреба в тепловій енергії вимагає установки агрегатів з великою електричною потужністю.
3. Для забезпечення потреби в тепловій енергії потрібна установка електричних водонагрівачів для перетворення частини зробленої електричної енергії в теплову, що приводить до подорожчання комплексу і зниженню ККД.
4. Потрібна трансформаторна підстанція великої потужності.
5. Комплекс має складне інженерне устаткування і, як наслідок, вимагає великої кількості висококваліфікованого персоналу.
6. У літній період ККД установки зменшується через скидання частини теплової енергії в навколишнє середовище.
7. Шум при роботі установки.

В другому варіанті, як джерело електро- і теплопостачання, пропонується використовувати міні ТЕЦ на базі когенераційної газопоршневої установки разом з газовою котельнею. Принципова відмінність від першого варіанта полягає в тім, що міні ТЕЦ призначена для покриття потреби комплексу аквапарка, у першу чергу, в електричній енергії, а газова котельня забезпечує потребу комплексу в тепловій енергії. На рис. 4.2 приведена комбінована схема енергопостачання аквапарка на базі міні ТЕЦ разом з газовою котельнею.

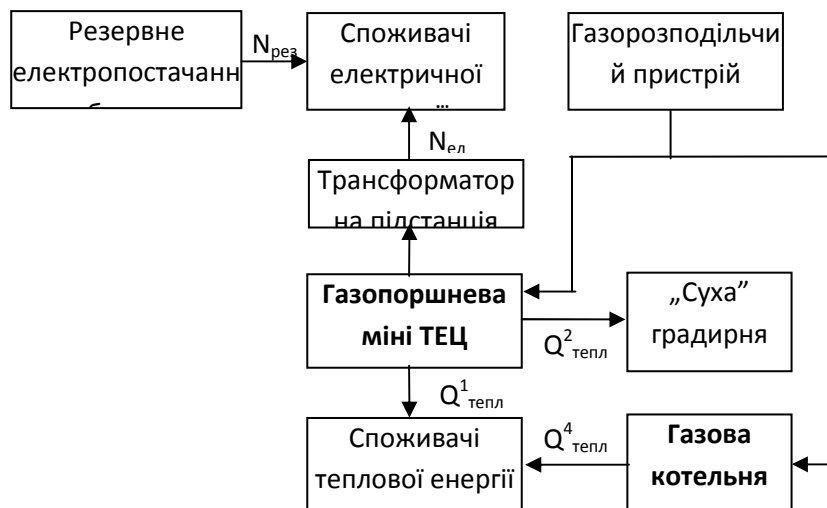


Рис. 4.2. Комбінована схема енергопостачання на базі газопоршневої міні ТЕЦ і газової котельні

Оснoву когенераційної газопоршневої міні ТЕЦ складає два газогенераторних модулі марки JMS-320 фірми Jenbacher (Австрія).

Електрична потужність двох агрегатів складає 1946 кВт, тепла потужність - 2,26 Гкал/год. Для забезпечення потреби в тепловій енергії комплексу аквапарка передбачається спорудження газової котельні потужністю 2,58 Гкал/год. Базова комплектація міні ТЕЦ аналогічна комплектації,

розглянутої в першому варіанті. "Суха" градирня в цьому варіанті зберігається, як система аварійного охолодження.

У газовій котельні передбачається установка двох жаротрубних водогрійних котлів фірми Vissmann (Німеччина) марки Vitoplex 100 с системою керування Vitotronic 333 потужністю 1750 кВт кожний. Крім того, до складу газової котельні входить: насосне устаткування фірми Grundfos (Німеччина); запірно-регулююча арматура; система керування й автоматика безпеки. ККД котельні складає 92%.

Потреба в тепловій енергії комплексу аквапарка забезпечується теплом, що виробляється міні ТЕЦ ($Q^1_{\text{тепл}}$) і теплом, вироблюваним газовою котельною ($Q^4_{\text{тепл}}$).

Переваги комбінованої схеми енергопостачання на базі міні ТЕЦ і газової котельні.

1. Забезпечує повне автономне постачання електричною і тепловою енергією комплекс аквапарка.

2. Комбінована схема збалансована, тобто кількість виробленої теплової енергії не залежить від кількості виробленої електричної енергії.

Недоліки комбінованої схеми енергопостачання на базі міні ТЕЦ і газової котельні.

1. Газова котельня експлуатується тільки в опалювальному сезоні.
2. У літній період ККД установки зменшується через скидання частини теплової енергії в навколишнє середовище.
3. Комплекс має складне інженерне устаткування і, як наслідок, вимагає великої кількості висококваліфікованого персоналу.
4. Шум при роботі установки.

У третьому варіанті, як джерело теплової енергії, пропонується використовувати газову котельню. Принципова відмінність від першого і другого варіантів полягає в тім, що потреба комплексу в електричній енергії забезпечується електричними мережами обленерго, а потреба в тепловій енергії забезпечується газовою котельною. На рис. 4.3 приведена схема енергопостачання аквапарка від електромереж обленерго та газової котельні.

У газовій котельні передбачається установка двох жаротрубних водогрійних котлів фірми Viessmann (Німеччина) марки Vitomax 300 с системою керування Vitotronic 333 потужністю 2900 кВт кожний. Склад допоміжного устаткування котельні аналогічний устаткуванню, розглянутому в другому варіанті. Потреба в тепловій енергії комплексу аквапарка забезпечується теплом, що виробляється газовою котельною ($Q^1_{\text{тепл}}$).

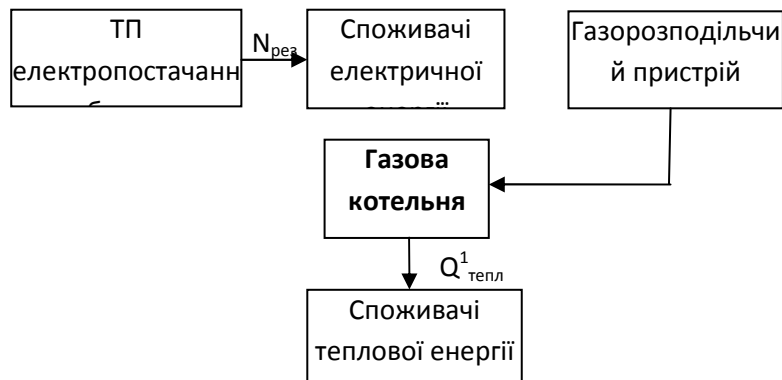


Рис. 4.3. Схема енергопостачання на базі газової котельні і централізованого електропостачання

Переваги схеми енергопостачання на базі газової котельні і централізованого електропостачання.

1. Забезпечує автономне постачання тепловою енергією комплекс аквапарка.
2. Цілорічне забезпечення тепловою енергією споживачів.
3. Відсутній шум при роботі установки.
4. У порівнянні з міні ТЕЦ, вимагає меншої кількості обслуговуючого персоналу.

Недоліки схеми енергопостачання на базі газової котельні і централізованого електропостачання.

1. Залежність від електромереж обленерго.

У четвертому варіанті пропонується використовувати повне енергопостачання від мереж обленерго. На рис. 4.4 приведена схема енергопостачання аквапарка від електромереж обленерго і газової котельні.

Для забезпечення трансформації і розподілу енергії в даному варіанті передбачається спорудження трансформаторної підстанції й індивідуального теплового пункту (ІТП). Устаткування ІТП містить у собі вузол обліку теплової енергії, пластинчасті теплообмінники, насосне устаткування, систему керування й автоматики.

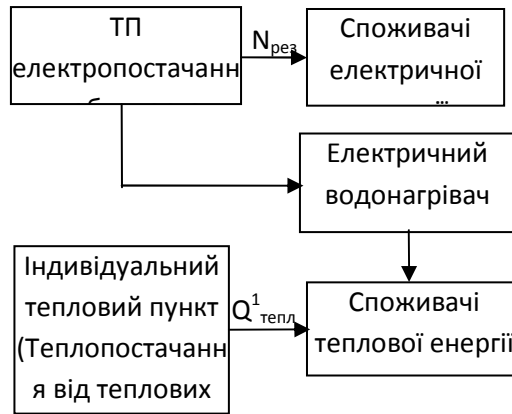


Рис. 4.4. Схема централізованого енергопостачання

Для забезпечення комплексу аквапарка на період профілактичних робіт на теплових мережах передбачається пристрій електричного водяного нагрівача.

Переваги схеми енергопостачання на базі газової котельні і централізованого електропостачання.

1. Найбільш проста схема енергопостачання.
2. Вимагає мінімального штату для обслуговування, у порівнянні з попередніми розглянутими схемами.

Недоліки схеми енергопостачання на базі газової котельні і централізованого електропостачання.

1. Залежність від мереж обленерго.

Для розглянутих чотирьох варіантів енергопостачання аквапарка проведемо порівняльний економічний аналіз.

Економічний аналіз буде виконаний без обліку капітальних вкладень у зовнішні комунікації і, відповідно, без обліку витрат на їхню експлуатацію. Вартості енергоресурсів наведені в табл. 4.1.

Табл. 4.1. Вартість енергоресурсів

Найменування	Позн.	Одиниці виміру	Значення
Тариф на заявлену потужність (для промислових підприємств із потужністю від 750	$B_{зм}$	грн/кВт·міс	68

кВа)			
Тариф на споживану електричну енергію	C_e	грн/кВт·год	0,59
Тариф на теплову енергію	$C_{\text{теп л}}$	грн/Гкал	377
Вартість газу	$V_{\text{газ}}$	грн/(100 0 нм3/ч)	780

Табл. 4.2. Економічні показники варіантів енергопостачання

Найменування	Варіант			
	1	2	3	4
Витрати на закупівлю електроенергії, у.е.	0	0	161500	161500
Витрати на закупівлю теплової енергії, у.е.	0	0	0	146500
Витрати на газ, у.е.	102300	102300	49500	0
Первинні капіталовкладення, у.е.	3500000	2400000	480000	250000
Витрати на технічне обслуговування, у.е.	132000	108000	36000	18000
Річні амортизаційні відрахування, у.е.	350000	240000	48000	25000
Сумарні річні витрати на вироблення електричної і теплової енергії, у.е.	584300	450300	295000	351000

Практичне заняття № 5

УСТАНОВКА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

За призначенням штучне освітлення буває робоче, аварійне (при відключенні робочого освітлення), евакуаційне, охоронне (в нічний час).

Аварійне освітлення повинно складати не менше 5% норми загального освітлення, але не менше 2 лк всередині приміщення і не менше як 1лк на території.

Евакуаційне освітлення повинно забезпечити освітленість не менш як 0,5 лк в приміщенні і 0,2 лк на відкритих площадках.

Охоронне освітлення влаштовується вздовж кордонів території, освітленість на рівні землі повинна бути не нижче ніж 0,5 лк.

Крім того, штучне освітлення буває:

- загальним (світильники розміщені рівномірно у верхній зоні приміщення);
- місцевим (безпосередньо на робочих місцях);
- комбінованим (загальне плюс місцеве). У виробничих приміщеннях одне місцеве освітлення не допускається.

Загальним називаються освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення (не нижче 2,5 м над підлогою рівномірно (загальне рівномірне освітлення) або з врахуванням розташування робочих місць (загальне локалізоване освітлення). Комбіноване освітлення складається із загального та місцевого. Його доцільно застосовувати при роботах високої точності, а також, якщо необхідно створити певний або змінний, в процесі роботи, напрямок світла. Місцеве освітлення створюється світильниками, що концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях. Застосовування лише місцевого освітлення не допускається з огляду на небезпеку виробничого травматизму та професійних захворювань.

Для розрахунку загального рівномірного штучного освітлення приміщень застосовується метод коефіцієнта використання світлового потоку, за допомогою якого визначають кількість світильників для даного приміщення.

Порядок проведення розрахунків:

1. Розраховують приблизну кількість світильників загального освітлення у приміщенні за формулою:

$$.N = (A \cdot B) / L^2 \quad (5.1)$$

A і B – довжина і ширина приміщення, м;

H_p – висота підвісу світильників над рівнем робочої поверхні, м:

$$H_p = H - h_p - h_c, \quad (5.2)$$

$h_p = 0,8$ м, висота робочої поверхні над підлогою; $h_c = 0,5$ м, відстань світлового центру світильника від стелі, або:

$$H_p = L/1,5, \quad (5.3)$$

L – відстань між рядами світильників; оптимальна відстань між світильником при багаторядному розташуванні, м, визначається:

$$L = 1,5 \cdot H_p, \quad (5.4)$$

2. Визначають світловий потік однієї лампи світильника Φ за формулою:

$$\Phi = (E_n \cdot S \cdot Z \cdot K_3) / (N \cdot n \cdot \eta), \quad (5.5)$$

де E_n – нормована освітленість, лк, визначається за табл. 5.1 для відповідного розряду зорової роботи;

S – площа приміщення, що освітлюється, m^2 ;

K_3 – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп, визначається за довідником (для кабінетів, робочих приміщень громадських будівель, торговельних залів тощо $K_3 = 1,5$ при освітленні газорозрядними лампами, $K_3 = 1,3$ при освітленні лампами розжарювання);

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення ($Z = 1,15$ для ламп розжарювання та ДРЛ; $Z = 1,1$ для люмінесцентних ламп);

N – кількість світильників (розрахована попередньо за формулою 5.1)

n – кількість ламп в світильнику (для світильників з газорозрядними лампами, прийняти тип світильника ЛПО-01 із кількістю ламп $n = 2$); для світильників з лампами розжарювання прийняти тип світильника УПМ-15 відповідно із $n = 1$);

η – коефіцієнт використання світлового потоку, визначається за світлотехнічною таблицею 5.1 в залежності від індексу приміщення, коефіцієнтів відбиття стелі, стін для світильників з люмінесцентними лампами; значення η визначають в залежності від індексу приміщення і:

$$i = (A \cdot B) / (H_p \cdot (A + B)), \quad (5.6)$$

3. Визначивши світловий потік лампи Φ , за таблицею 5.2 вибирають найближчу стандартну лампу, причому її світловий потік не повинен відрізнятись від розрахункового більше ніж на $(-10) - (+20) \%$.

Розраховують необхідну кількість світильників у приміщенні N_n за формулою:

$$N = E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z / (\Phi \cdot n \cdot \eta). \quad (5.7)$$

4. Розраховують очікувану освітленість у приміщенні E_p за необхідної кількості світильників N_n і відомих всіх інших значеннях за формулою:

$$E_p = (\Phi \cdot N \cdot n \cdot \eta) / (S \cdot Z \cdot K_z) \quad (5.8)$$

Завдання 5.1. Розрахувати систему загального рівномірного освітлення для торговельного залу, якщо приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $\rho_{\text{стелі}} = 70\%$, $\rho_{\text{стін}} = 50\%$, $\rho_{\text{підлоги}} = 30\%$; висота приміщення $H=3,2\text{м}$; висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,9\text{ м}$; відстань від світильника до стелі $h_c = 0,5\text{ м}$ (для світильників з лампами розжарювання). Тип світильників – ЛПО-01. Лампи для світильників за технічними характеристиками обрати самостійно (виходячи із розрахованого приблизного значення світлового потоку однієї лампи). Інші вихідні дані наведені в таблиці 5.3. Накреслити схему розташування світильників у приміщенні.

Табл.. 5.1 Коефіцієнти використання світлового потоку (η) світильників з газорозрядними лампами та лампами розжарювання

Тип світильника	УПМ-15			ЛПО-01		
$\rho_{\text{стелі}}, \%$	70	50	30	70	50	50
$\rho_{\text{стін}}, \%$	50	30	10	50	50	30
i	Коефіцієнти використання, $\eta, \%$					
0,5	22	20	17	25	23	20
0,6	32	26	23	31	29	24
0,7	39	34	30	36	34	28
0,8	44	38	34	39	37	32
0,9	47	41	37	42	41	35
1,0	49	43	39	46	44	38
1,1	50	45	41	48	46	41
1,25	52	47	43	51	49	44
1,5	55	50	46	55	53	49
1,75	58	53	48	58	57	52
2,0	60	55	51	61	59	55
2,25	62	57	53	63	62	57
2,5	64	59	55	65	64	59

3,0	66	62	58	68	66	62
3,5	68	64	61	70	68	64
4,0	70	66	62	71	69	66
5,0	73	69	64	75	72	70

Табл. 5.2. Технічні дані деяких ламп розжарювання та люмінесцентних ламп

Лампи розжарювання загального призначення (U=220 В)			Люмінесцентні лампи загального призначення			
Р, Вт	Тип лампи*	Світловий потік, лм	Р, Вт	Тип лампи*	Світловий потік, лм	Довжина лампи, м
25	В	220	20	ЛДЦ	850	0,6
40	Б	400	20	ЛД	1000	0,6
40	БК	460	20	ЛБ	1200	0,6
60	Б	715	30	ЛДЦ	1500	0,9
60	БК	790	30	ЛД	1800	0,9
100	Б	1350	30	ЛБ	2180	0,9
100	БК	1450	40	ЛДЦ	2200	1,2
150	Г	2000	40	ЛД	2500	1,2
150	Б	2100	40	ЛБ	3200	1,2
200	Г	2800	80	ЛДЦ	3800	1,5
200	Б	2920	80	ЛД	4300	1,5
300	Г	4600	80	ЛБ	5400	1,5

Примітка*: В – вакуумна, Б – біспіральна, БК – біспіральна криптонова, Г – газонаповнена, ЛДЦ – денного світла з покращеним відтворенням кольору, ЛД – денного світла, ЛБ – білого світла.

Джерела світла для організації штучного освітлення

Згідно з ДБН В. 2.5–28–2006 для загального штучного освітлення приміщень слід використовувати, як правило, розрядні джерела світла, віддаючи перевагу за однакової потужності джерелам світла з найбільшою світловою віддачею і строком служби. Використання ламп розжарювання для загального освітлення допускається тільки у випадках неможливості або техніко-економічної недоцільності використання розрядних ламп. Застосування ксенонових ламп у приміщеннях не дозволяється.

Для місцевого освітлення, крім розрядних джерел світла, рекомендується використовувати лампи розжарювання, в тому числі галогенні.

Основними вимогами, що ставляться до сучасного освітлення є наступні: забезпечення найкращих умов зорової роботи, керування освітленням безпосередньо із робочого місця, енергоефективність, енергозбереження протягом усього періоду експлуатації, мінімізація шкоди навколишньому середовищу.

У виборі штучних джерел освітлення до уваги приймаються показники, головними з яких є світловий потік, передача кольорів, розподіл яскравості. Кожен цих показників має чіткі цифрові значення, так, в ДБН В. 2.5–28–2006 нормується показник засліпленості P , коефіцієнт пульсації K_p , %, індекс кольоропередачі R_a .

У виборі типів ламп для організації виробничого освітлення необхідно враховувати їх світлотехнічні характеристики (потужність, світловіддача, передача кольору), строк служби, економічність, а також екологічність.

Найбільш широкого використання для забезпечення штучного освітлення набули розрядні лампи (люмінесцентні, ртутні, високого тиску дугові типу ДРЛ та ін.), які випромінюють світло в результаті електричного розряду в атмосфері інертних газів і парів металів, а також за рахунок явища люмінесценції.

Розрядні лампи відрізняються низкою переваг:

- випромінюють світло, близьке до природного;
- мають тривалий термін дії – 5...20 тисяч годин;
- світловіддача 30...80 лм/Вт;
- низька температура поверхні колби;
- низька потужність живлення (трубчаста люмінесцентна лампа потужністю 23 кВт або компактна люмінесцентна лампа потужністю 10 кВт здатна замінити лампу розжарювання потужністю 100 кВт).

Найбільш розповсюдженим різновидом подібних джерел є ртутна люмінесцентна лампа (рис. 5.1). Вона представляє собою скляну трубку,

заповнену парами ртуті, з нанесеним на внутрішню поверхню шаром люмінофора.

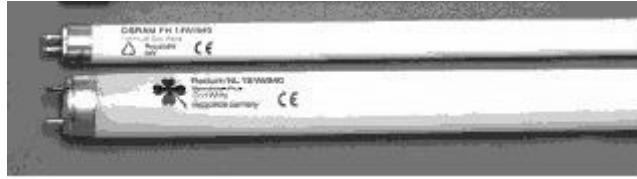


Рис. 5.1. Стандартна трубчаста люмінесцентна лампа.

Електроди люмінесцентної лампи – це вольфрамові нитки, вкриті пастою із лужноземельних металів, яка забезпечує стабільний тліючий розряд (у разі її відсутності, вольфрамові нитки перегрілися б і згоріли). У процесі роботи, особливо при частих пусках, ця паста поступово обсипається з електродів, вигорає, випаровується, що приводить до перегріву електрода (звідси потемніння на кінцях лампи, яке спостерігається ближче до закінчення терміну служби).

При роботі люмінесцентної лампи між двома електродами, що знаходяться у протилежних її кінцях виникає тліючий електричний розряд. Лампа заповнена парами ртуті і струм, що проходить через неї, призводить до появи УФ-випромінювання. Внутрішні стінки лампи вкриті спеціальною речовиною – люмінофором, що поглинає УФ-випромінювання і випромінює видиме світло. Змінюючи склад люмінофора можна змінювати відтінок світіння лампи.

Так як люмінесцентна лампа має від’ємний диференційний опір, (чим більший струм через неї проходить – тим менше її опір), то її підключають до мережі через спеціальний пристрій (баласт). Це запобігає передчасному виходу лампи з ладу. В даний час використовуються два типи баластів – електромагнітний і електронний.

Електромагнітний баласт – індуктивний опір (дросель), який підключається послідовно з лампою. Для запуску лампи з таким типом баласту необхідний також стартер. Перевагами такого типу баласту є його простота і дешевина. Недоліки – мерехтіння ламп (за частоти струму 50 Гц пульсація лампи відбувається 100 разів в секунду), що підвищує стомлюваність, негативно позначатися на зорі, та може призводити до виникнення стробоскопічного ефекту; відносно довгий запуск (зазвичай 1...3 сек., час збільшується в міру зносу лампи); більше споживання енергії в порівнянні з електронним баластом. Дросель також може видавати низькочастотний гул.

Електронний баласт – електронна схема, яка підвищує частоту живлячого лампу струму в 10...100 разів (20...60 кГц). Перевагами такого баласту є

відсутність мерехтіння і гулу, більш компактні розміри і менша маса, у порівнянні з електромагнітним баластом, час запуску 0,5...1 сек.

Люмінесцентні лампи дають можливість створювати світло різного спектрального складу – теплий, природний, білий, денний, що може істотно збагатити колірну палітру. Існують спеціальні рекомендації з вибору типу люмінесцентних ламп (кольоровості світла) для різних галузей застосування. Для освітлення виробничих приміщень широко застосовуються люмінесцентні лампи (трубчасті): білого світла (ЛБ), теплого білого світла (ЛТБ), холодного білого світла (ЛХБ), денного світла (ЛД), з кращою передачею кольорів (ЛДЦ).

За стандартами люмінесцентні лампи денного світла поділяють на колбні (трубчасті) і компактні.

Колбні лампи – це лампи у виді скляної трубки. Вони відрізняються за діаметром і за типом цоколя. Прикладом такої лампи є вітчизняна люмінесцентна лампа потужністю 20 Вт («ЛБ-20») та її європейський аналог – T8 18W.

Лінійна форма люмінесцентної лампи в ряді випадків є незручною. З метою одержати більш компактне джерело світла виготовляються лампи кільцевої, U- та W-подібної форм. Кільцеві лампи випускають потужністю в 20...40 Вт, U-подібні – 15...80 Вт, W-подібні – 30 Вт.

Компактні люмінесцентні лампи (рис. 5.2) представляють собою лампи з зігнутою трубкою, вони відрізняються типом цоколя.

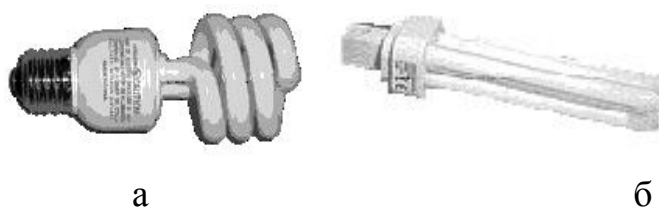


Рис. 5.2. Типи компактних люмінесцентних ламп.

а – інтегровані компактні лампи, мають вбудований баласт і стартер; різьблення E14, E27 і E40 дозволяє монтаж у стандартні побутові і промислові патрони; недолік – великі габарити пускової частини, що виключає можливість монтажу в більшість настінних світильників

б – лампи G24Q1, G24Q2 і G24Q3, не мають вбудованого стартера, потужність 13...36 Вт; застосовуються як у промислових, так і в побутових світильниках

Перевагою компактних ламп є стійкість до механічних ушкоджень і невеликі розміри. Цокольні гнізда для таких ламп дуже прості для монтажу в звичайні світильники, термін їх служби складає від 6000 до 15000 годин.

Віддаючи перевагу люмінесцентним лампам, враховуючи такі їх переваги, як висока економічність, різноманітний за кольоровістю випромінювання асортимент, можливість наближення кольорних характеристик до характеристик різних фаз денного світла, великий термін служби не варто забувати і про їхні недоліки.

До недоліків люмінесцентних ламп відносяться: складність включення і втрати потужності в пусковому баласті (до 20...30%), залежність світлових характеристик лампи від температури навколишнього середовища, значне зниження світлового потоку перед закінченням терміну служби, пульсація світлового потоку при живленні ламп змінним струмом.

Схеми включення ламп постійно удосконалюються, що дозволяє поступово знижувати втрати в пускових баластах і зменшувати вагу і габарити останніх.

Залежність світлових і електричних характеристик ламп від температури колби зумовлена фізичними особливостями ртутного розряду. Температура колби і значною мірою визначається температурою навколишнього середовища. Тому, температура повітря, що оточує лампу, повинна бути в межах 5...50°C, причому номінальні світлові потоки ламп гарантуються тільки в межах температур повітря 18...25°C, що відповідає температурі її стінок 40-50°C. У закритих світильниках температура повітря значно перевершує обумовлені межі, внаслідок чого лампи в процесі нормальної експлуатації створюють світловий потік нижчий за номінального.

Серед люмінесцентних ламп перевагами в роботі за підвищеної температури навколишнього середовища відрізняються амальгамні лампи, в яких ртуть міститься у вигляді амальгами. В залежності від способу установки, їх застосовують для роботи в одному з двох режимів: за температури навколишнього повітря 5...30°C або за температури 30...60°C, причому в останньому випадку ці лампи дають світловий потік на 25% більше, ніж стандартні.

Пульсація характерна для лінійних (трубчастих люмінесцентних ламп), які підключаються до електромережі за допомогою електромагнітного баласту. Тому, однолампові трубчаті світильники рекомендується використовувати в неробочих зонах приміщення. В багатолампових світильниках цей недолік практично усувається. У приміщеннях, де можливе виникнення стробоскопічного ефекту, необхідно забезпечити включення сусідніх світильників на 3 фази живильної напруги або включення їх у мережу за допомогою електронного баласту.

Галогенні лампи (рис. 5.3) за структурою і принципом дії подібні до ламп розжарювання. Але вони містять у газі-наповнювачі незначні добавки галогенів (бром, хлор, фтор, йод) або їхні сполуки. За допомогою цих добавок є можливість усунути потемніння колби (викликане випаром атомів вольфраму) і зумовлене цим зменшення світлового потоку.

До переваг галогенних ламп у порівнянні із лампами розжарювання відносяться наступні:

- за мінімальної витрати електроенергії забезпечують максимальне освітлення;
- мають у декілька разів більший строк служби (у 2...4 рази вище, ніж у ламп розжарювання);
- виробляють більш яскраве біле світло;
- більш якісно передають колір освітлюваних предметів;
- випускаються в більш багатому асортименті;
- дозволяють краще управляти світловим пучком і направляти його із більшою точністю;
- відрізняються міцністю, стійкістю до частих перепадів атмосферного тиску і до різкої зміни температури.



Рис. 5.4. Різновид галогенних ламп Electrum

а – низьковольтна галогенна лампа з відбивачем (потужність 10 Вт, напруга 12 В);

б – високовольтна галогенна лампа (потужність 40 Вт, напруга 230 В)

У галогенній лампі металевий вольфрам, що випаровується в результаті розжарювання нитки, не осаджується на відносно холодних стінках колби, а утворює летку сполуку з галогеном. Галогенід вольфраму циркулює в об'ємі колби, і, досягаючи розжареної вольфрамової нитки, розкладається на вихідні компоненти. Галоген повертається в цикл, а металевий вольфрам частково осідає на нитку, а частково залишається у виді "атмосфери" навколо нитки.

Підвищена концентрація парів вольфраму в безпосередній близькості від нитки різко сповільнює подальше його випаровування, у результаті чого нитка не стає тоншою, а скло залишається прозорим. Уповільнення випаровування вольфраму дає змогу сильніше розжарити нитку, що дозволяє наблизити колір її випромінювання до природного сонячного.

Колба галогенної лампи виконується з тугоплавкого кварцового скла, що є більш стійким до високої температури і хімічних впливів. Кварцове скло – жароміцний матеріал, а маленькі габарити гарантують міцність, достатню для того, щоб створювати більш високий тиск газу. Тому розмір колби в галогенних лампах розжарювання може бути сильно зменшений, унаслідок чого з одного боку можна підвищити тиск у газі-наповнювачі, і з іншого – є можливим застосування дорогих інертних газів (криптон і ксенон) у якості газів-наповнювачів. Усе це дозволяє підвищити температуру спіралі, у результаті чого збільшується світловіддача і термін служби лампи.

Галогенні лампи нового покоління (рис. 5.3 а), мають покриття, що пропускає тільки видиме світло, а інфрачервоне повертає на спіраль, де воно частково поглинається, тобто частина енергії, частково перетворюється знову у світло, що значно підвищує світловіддачу.

Галогенні лампи бувають двох видів: високовольтні, працюючі під напругою 220 В (рис. 5.3б) і низьковольтні, на 6, 12, 24 і 36 В. Частіше застосовують 12-вольтні лампи.

Перевага низьковольтних ламп – підвищена безпека, особливо в умовах підвищеної вологості, і більш довгий термін служби.

Середній термін служби 220-вольтних ламп – 2000 годин, 12-вольтних – 4000. Однак для них потрібний трансформатор, що знижує напругу з 220 до 12 В і окрема проводка.

Галогенні лампи також мають недоліки:

1. Колби галогенних ламп мають властивість сильно нагріватися (до 500°C), тому варто неухильно дотримуватись норм протипожежної безпеки при установці ламп. Доторкання до включеної або недостатньо остиглої лампи може призвести до серйозних опіків. Та й остиглу лампу не слід брати голими руками. Від цього на колбі лампи залишаються жирні плями, після ввімкнення жир під дією високої температури обвуглюється, чорні частки вугілля поглинають тепло і сильно розжарюються. Через місцевий перегрів колба може лопнути, і лампа вибухнути.

Лампу варто брати, використовуючи чисті тканинні рукавички, шматок чистої тканини або паперову серветку. Якщо колба чимось забруднена, її потрібно протерти спиртом.

Останнім часом широкого розповсюдження набули галогенні лампи низької напруги з відбивачем. У цих лампах до двох третин інфрачервоного випромінювання лампи відбивається напівпрозорим дзеркалом, тому освітлювані об'єкти менше піддаються нагріванню. Остигли лампи з відбивачем можна брати руками.

2. Чутливі до стрибків напруги у мережі живлення і за несприятливих умов можуть швидко вийти з ладу; тому їх бажано включати через стабілізатор напруги. Для досягнення найбільшої ефективності лампи її доцільно використовувати на повній потужності, заявленої виробником. Однак її яскравість можна регулювати за допомогою стандартних світлорегуляторів. Знижуючи потужність лампи, можна знизити або навіть відключити роботу галогенного циклу, і вона почне працювати як звичайна лампа розжарювання. Для відновлення роботи галогенів і зняття металевих часток вольфраму, що осіли на стінки колби, досить на кілька хвилин увімкнути лампу на повну потужність.

3. У спектрі випромінювання присутній надлишок ультрафіолету, що шкідливий для здоров'я. Тому, їх не рекомендується використовувати без спеціальних фільтрів.

І все-таки, незважаючи на всі перераховані вище недоліки, галогенні і люмінесцентні лампи – це джерела штучного світла нового покоління, що за своїми характеристиках істотно перевершують традиційні лампи розжарювання.

Перспективним напрямком в плані енергозбереження є впровадження світлодіодних ламп. В Україні затверджена Державна цільова науково-технічна програма “Розробка і впровадження енергозберігаючих світлодіодних джерел світла та освітлювальних систем на їх основі” (постанова КМУ №632 від 9.07.2008).

Світлодіодні енергозберігаючі лампи (рис. 5.4) призначені для використання як на вулиці так і усередині приміщення, поєднують у собі традиційне виконання (цоколь E-27, E-14, MR-16, GU-10) насиченість та чистоту кольору і високу надійність. Джерелом світла в таких лампах є білий світлодіод. В основі приладу лежить синій світлодіод із сполук Галію й Індію з Нітрогеном. Його світло, потрапляючи на шар з алюмінію, галію, індію і фосфору, породжує жовтогарячі промені. Суміш синього і жовтогарячого

світла сприймається людським оком як біле. Білий світлодіод може мати світловіддачу 330 лм/Вт (найкращі люмінесцентні лампи мають 50...90 лм/Вт, а лампи розжарювання – 10...20 лм/Вт).



Рис. 5.4. Різновид світлодіодних ламп з цоколем E-27, напруга 220 В

а – світлодіодна лампа високої яскравості: усередині 1 CREE світлодіод (потужність кожного – 3 Вт, яскравість – 120 лм);

б – світлодіодна лампа високої яскравості: усередині 5 CREE світлодіод (потужність кожного – 1Вт, яскравість – 300 лм)

При застосуванні таких ламп відпадає необхідність використання, як електронних баластів, так і схем з використанням дроселів, стартерів. Світлодіодні лампи споживають у два рази менше електроенергії в порівнянні з люмінесцентними лампами, а їхній термін служби в 10 разів довший. Монтаж даних ламп є досить простим.

Серед інших переваг світлодіодних ламп слід зазначити наступні:

- безпека для навколишнього середовища;
- мінімальне виділення тепла: майже вся електроенергія йде на виділення світла, тим самим досягається її істотна економія;
- відсутність шуму, що робить їх незамінним джерелом світла в таких місцях як бібліотеки, лікарні, офіси і т.ін.;
- м'яке світло і відсутність мерехтіння;
- відсутність ультрафіолетового випромінювання;
- різна робоча напруга: можуть працювати від напруги в діапазоні від 80 до 230 В;
- економія електроенергії, довгий термін служби: споживають на 50...70% менше електроенергії, ніж лампи розжарювання;
- міцність і безпека: корпус виконаний з міцного полікарбонатного пластику, що набагато міцніший звичайного скла, з якого зроблені люмінесцентні лампи.

Слід також зазначити, що світлодіодні лампи, що пропонуються сьогодні на ринку мають менший світловий потік, ніж люмінесцентні. Наприклад,

стандартна люмінесцентна лампа “ЛБ-20, з потужністю 20 Вт створює світловий потік 1200 лм.

Для створення аналогічного світлового потоку світлодіодними лампами необхідно 10 ламп високої яскравості з одним CREE-світлодіодом із світловіддачею 120 лм, потужність яких складе 30 Вт (103 Вт).

Отже, з точки зору досягнення необхідного рівня освітлення за мінімального споживання електроенергії, найбільш ефективними на сьогоднішній день є люмінесцентні лампи. Але більш надійними і безпечними, як для здоров'я людини, так і для навколишнього середовища є світлодіодні лампи.

Питання для самоконтролю

Які класифікується штучне освітлення?

В яких одиницях нормується штучне освітлення.

Які є методи розрахунку штучного освітлення?

Як проводиться розрахунок штучного освітлення за методом використання коефіцієнта світлового потоку?

Які джерела світла використовуються для організації загального освітлення виробничих приміщень? Назвіть їхні переваги та недоліки?

Які джерела світла можна використовувати для організації місцевого освітлення?

Порівняйте між собою лампи розжарювання та галогенні.

Які із джерел штучного освітлення є найбільш ефективними з точки зору енергозбереження ?

Список літератури

1. Бакалін Ю.І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент: Навчальний посібник / Бакалін Ю.І. – 3-є вид., перероб. та доп. – Харків: БУРУН і К, 2006. – 320с.
2. Єнін П.М. Теплопостачання (частина I „Теплові мережі та споруди”). Навчальний посібник / Єнін П.М., Швачко Н.А. – К.: Кондор, 2007, – 244 с.