

2. Розрахунок очікуваних електричних навантажень

2.1. Загальні положення

При проектуванні електропостачання цехів пропонується провести розрахунок електричних навантажень цеха використовуючи коефіцієнта максимуму (метод впорядкованих діаграм). Для цього необхідно мати склад, кількість і встановлену потужність електрообладнання встановленого в цеху. Набір основного силового електрообладнання цеха задається викладачем, або студент сам проводить вибір такого обладнання на підставі довідникової літератури, або використовуючи дані отримані під час проходження практик на підприємствах.

Для визначенні встановленої потужності на освітлення, пропонується провести розрахунок освітлення цеха використовуючи один з методів розрахунку (метод коефіцієнта використання, метод питомої потужності, точковий метод).

2.2. Визначення встановленої потужності на освітлення.

2.2.1. Розрахунок потужності освітлюваної установки методом коефіцієнта використання

Світловий потік лампи необхідний для забезпечення заданої мінімальної освітленості визначається із співвідношення:

$$\Phi_{л} = \frac{E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{n \cdot \eta} \text{ , лм,} \quad (2.1)$$

де E - нормоване значення освітленості, лк (таб.2.1.), (таб.1.8 [2]);

S - площа робочої поверхні, м² (визначається по площі цеха);

K^3 - коефіцієнт запасу (таб.2.2);

n - кількість встановлених світильників в цеху;

Z - коефіцієнт мінімальної освітленості (таб.2.3.);

η - коефіцієнт використання світлового потоку (таб.1.9, 1.10 [2]).

Коефіцієнт використання світлового потоку залежить від типу світильника, його ККД, коефіцієнтів відбиття стін ρ_c , стелі ρ_n , робочої поверхні приміщення і від індексу приміщення, який визначається за формулою:

$$i = \frac{A \cdot B}{H(A+B)} \text{ ,} \quad (2.2)$$

де A, B - відповідно довжина і ширина приміщення, м;

H - висота приміщення, м.

Розрахувавши світловий потік лампи, знаючи її тип, вибираємо потужність лампи, з таким розрахунком, щоб світловий потік вибраної лампи був рівним розрахунковому, або незначно відрізнявся від нього ($\pm 10\%$).

Таблиця 2.1. Нормована освітленість приміщень, виробничих дільниць і будівель

Приміщення та виробничі дільниці	Розряд зорових робіт	Освітленість, лк	
		при комбінованому освітленні	при загальному освітленні
1. Моторні, агрегатні, механічні, електротехнічні	IVa	750	300
2. Ковальські, зварювально-заготівельні, мідницькі	IV	500	200
3. Столярні	Va	300	200
4. Склади	VIIIa		75
5. Машинні зали, насосні, компресорні	VI		150

Таблиця 2.2. Значення коефіцієнту запасу K^3

Приміщення	Газорозрядні лампи	Лампи розжарення
1. Агломераційні фабрики, цементні заводи і обрубні відділення ливарних заводів	2	47
2. Цехи ковальські, мартенівські, ливарні, зварювальні, збірного залізобетону	1,8	1,5
3. Цехи інструментальні, складальні, механічні, механо-складальні, ткальні, прядильні, деревообробні	1,5	1,9
4. Цехи хімічних заводів і гальванічних покриттів	1,8	1,5
5. Територія підприємств	1,5	1,9

Таблиця 2.3. значення коефіцієнтів Z для різних типів світильників

Тип світильника	Значення Z при відношенні l/H			
	0,8	1,2	1,6	2
УПМ	1,2	1,15	1,25	1,5
НСПО1 "Астра"	1,15	1,1	1,2	1,4
Світильники розсіяного світла	1,0	1,0	1,2	1,2

Де l - відстань між світильниками, м.

Примітка: в курсовому (дипломному) проектуванні значення коефіцієнтів можна приймати наступні: $Z=1,1-1,3$; $K^3=1,2-$

1,4.

Таблиця 2.4. Наближені значення коефіцієнта відбиття стін і стелі

Характер поверхні	ρ
1.Побілена стеля, побілені стіни з вікнами закритими білими шторами	0,7
2.Чиста бетонна і світла дерев'яна стеля, побілена стеля у вологих приміщеннях, побілені стіни при завішених вікнах	0,5
3.Бетонна стеля в брудних приміщеннях, дерев'яна стеля	0,3
4.Суцільне заскління ,без штор, червона цегла, бетонна і дерев'яна стеля та стіни в запилених приміщеннях	0,1

Приклад 1.

Вибрати систему освітлення, тип світильників, їх потужність для ремонтно-механічного цеха. Встановлена потужність силових електроспоживачів цеха становить $P_n = 2000$ кВт.

Рішення:

1. За таб.2.1 знаходимо для ремонтно-механічного цеха розряд зорових робіт– IVа.

Для приміщення з розрядом зорових робіт I-IV слід застосовувати схему комбінованого освітлення. Для нашого випадку також слід застосовувати систему комбінованого освітлення. Проте, в зв'язку із складністю розрахунків, застосовуємо систему загального освітлення. За таб.2.1 знаходимо нормовану освітленість $E=300$ лк.

2. Для освітлення приміщення, як правило передбачаються газорозрядні лампи (люмінесцентні, ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, НЛВД). У випадку неможливості їх примінення допускається встановлення ламп розжарювання. Таким чином в нашому випадку вибираємо лампи типу ДРЛ.

3. Вибір типу світильників проводимо з врахуванням наступних вимог:

- а) вимогах до його світлорозподілу (таб.2.5);
- б) умов середовища за ступінню захисту від уражень струмом, запылення (табл.2.7.);
- в) вимог по обмеженню засліплення;
- г) економічності установки в цілому.

Для нашого випадку застосуємо клас світильника II (таб. 2.5), ступінь захисту від пилу 2 (таб.2.6), ступінь захисту від води 0. Значить ступінь захисту світильника, що вибирається повинна бути IP20. Тип світильника уточнимо після визначення потужності ламп (Додаток 1, 2).

Попередньо вибираємо світильник типу С34ДРЛ.

4. Визначаємо площу цеха виходячи з встановленої потужності силових споживачів і питомої густини силового навантаження ($P_{num.c.} = 500 \frac{Вт}{м^2}$, таб. 4-16, [1])

$$S = \frac{P_H \cdot 10^3}{W_{num.c.}}, \text{ м}^2 \quad (2.3)$$

Отримаємо

$$S = \frac{2000 \cdot 10^3}{500} = 4000, \text{ м}^2$$

Рахуємо, що цех складається з двох блоків загальною шириною 50 м, тоді довжина цеха буде становити

$$A = \frac{S}{B} = \frac{4000}{50} = 80 \text{ м}$$

Висоту цеха приймаємо $H = 12 \text{ м}$.

5. Намічаємо встановлення світильників по площі цеха. При цьому необхідно користуватися рекомендаціями приведеними в таб. 2.8.

$$\frac{l}{H} = 0,9,$$

де l – відстань між світильниками в ряду, м;
 H – висота приміщення цеху, м.

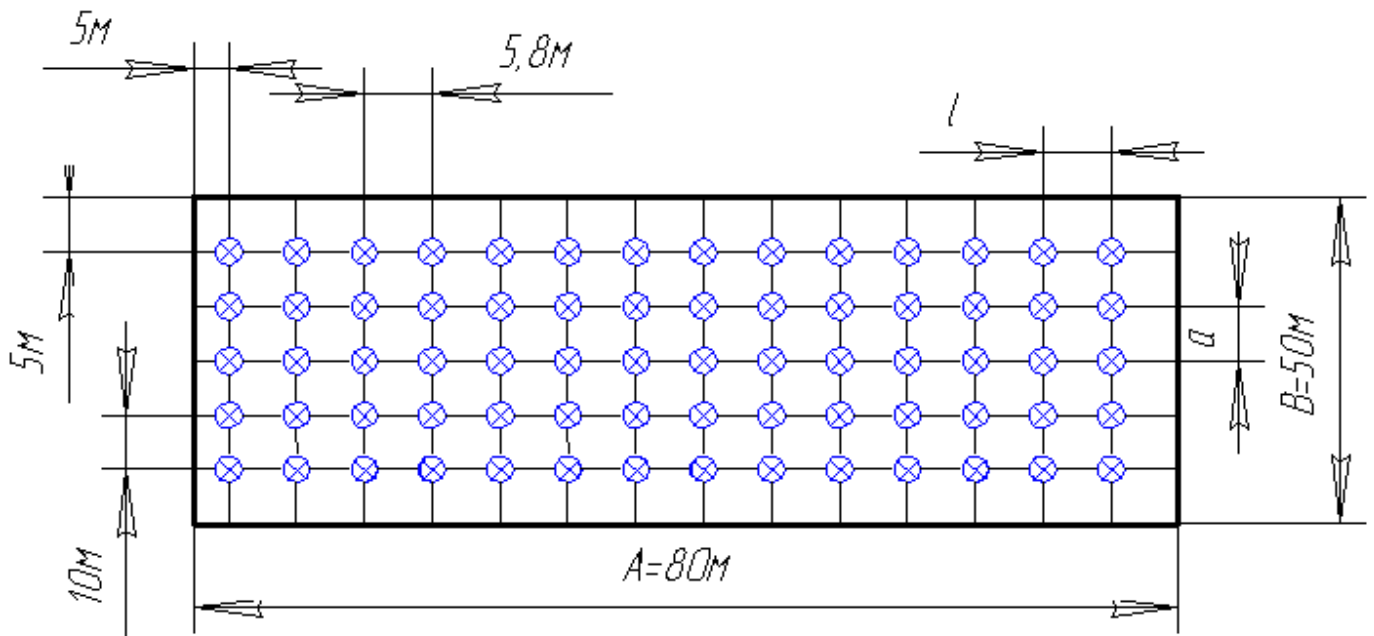
За таб. 2.8 вибираємо світильник типу К - дзеркальний глибоковипромінювач, відношення

$$\frac{a}{H} = 0,8,$$

де a – відстань між рядами світильників.
Отримаємо

$$l = H \cdot 0,9 = 12 \cdot 0,9 = 10,8 \text{ м}$$
$$a = H \cdot 0,8 = 12 \cdot 0,8 = 9,6 \text{ м}$$

Приймаємо $l = 10,0 \text{ м}$; $a = 10,0 \text{ м}$, (мал. 1.2).



Мал. 1.2 План розміщення світильників в цеху

Отримаємо всього $n = 8 \times 5 = 40$ світильників.

6. Визначаємо індекс приміщення

$$i = \frac{A \cdot B}{H(A + B)} = \frac{80 \cdot 5}{12(80 + 50)} = 2,56$$

7. За таб. 2.4 знаходимо коефіцієнти відбиття

$$\rho_c = 0,5 ; \quad \rho_n = 0,7 ; \quad \rho_{нов} = 0,3$$

8. За таб. 1.9, [2] знаходимо коефіцієнт використання світлового потоку

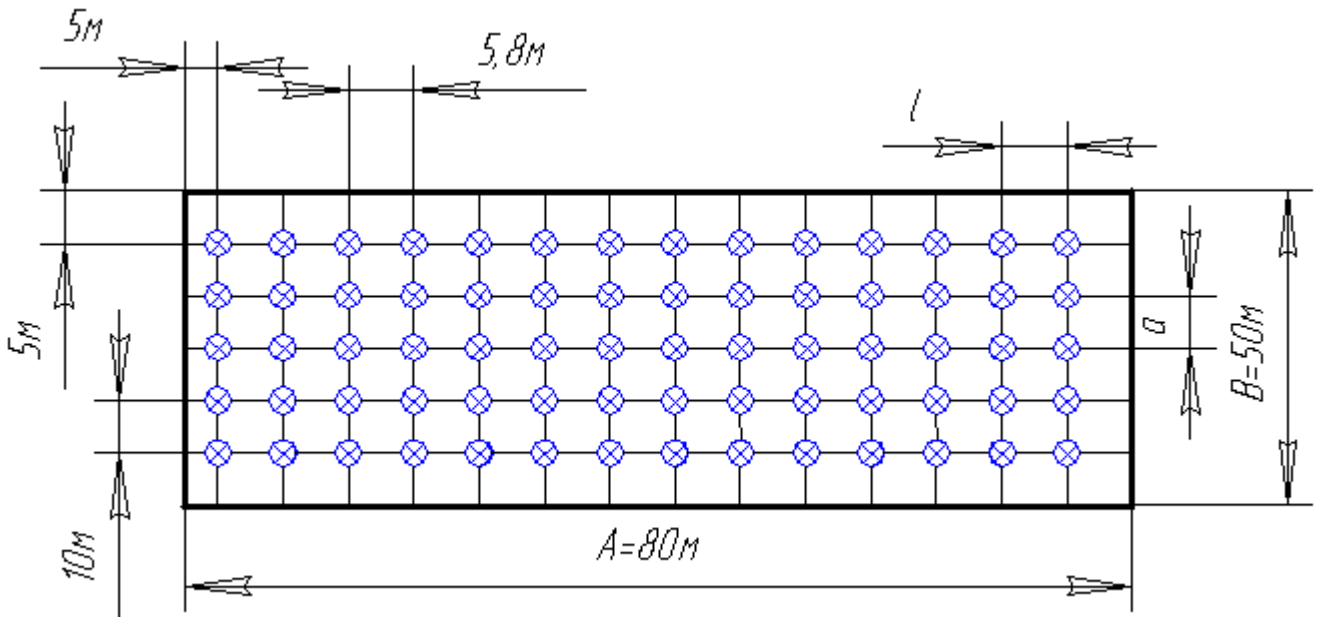
$$\eta = 63$$

9. За таб. 2.2 коефіцієнт запасу – $K_3 = 1,5$; за таб. 2.3 коефіцієнт мінімальної освітленості – $z = 1$.

10. Визначаємо розрахунковий світловий потік лампи:

$$\Phi_{л} = \frac{E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{n \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 4000 \cdot 1,5 \cdot 1}{40 \cdot 0,63} = 71500 \text{ лм.}$$

Оскільки найбільша світловіддача ламп типу ДРЛ становить $\Phi_{л} = 57000$ лм, що менше ніж розрахунковий світловий потік, то збільшуємо кількість світильників в цеху і розрахунок проводимо повторно.



Мал. 2.2 План розміщення світильників в цеху

Отримаємо $n = 14 \times 5 = 70$ ламп, тоді:

$$\Phi_{л} = \frac{E \cdot S \cdot K_{з} \cdot Z}{n \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 4000 \cdot 1,5 \cdot 1}{70 \cdot 0,63} = 41000 \text{ лм}$$

Вибираємо стандартну лампу ДРЛ 700(6)-2 потужністю $P_{л} = 700$ Вт.
Встановлена потужність освітлення буде становити

$$P_{Н.О.} = P_{л} \cdot n \cdot 10^{-3} = 700 \cdot 70 \cdot 10^{-3} = 49 \text{ кВт}$$

Згідно Додатку 1 вибираємо тип світильника С34 ДРЛ.

Таблиця 2.5 Вибір типу світильника по його світлорозподілу

Клас світильника	Область застосування
1. Прямого світла (П), (К), (Г)	Високі виробничі приміщення з темними стінами і стелею
2. Косинусного світлорозподілу (Д)	Виробничі приміщення з висотою не більше 8-10 м з темною стелею і наявністю пилевиділення
3. Широкого світлорозподілу і косинусного світлорозподілу (Л),(Щ)	Відкриті простори, цехи з невеликою висотою та громіздким обладнанням
4. Переважно прямого світла (Н)	Виробничі і підсобні приміщення з світлою покраскою стелі і стін

Таблиця 2.6 Ступінь захисту світлових приладів від пилу і дотику до

струмопровідних частин

Перша цифра	Підклас СП	Ступінь захисту від пилу і дотику персоналу з частинами, які знаходяться під напругою
Пилезахищені		
2	Відкриті	Спеціальний захист від пилу відсутній
2'	Перекриті	Спеціальний захист від пилу відсутній, попадання пилу обмежується світлопропускаючими оболонками. Захист від дотику пальцями.
Пилезахищені		
5	Повністю захищені	Захист від попадання пилу та струмопровідні частини і колби ламп
5'	Частково захищені	Захист від попадання пилу та струмопровідні частини світлових приладів
Пилепроникні		
6	Повністю пилепроникні	Повний захист від попадання пилу та струмопровідні частини. Повний захист персоналу від можливості дотику.
6'	Частково пилепроникні	Повний захист від попадання пилу на струмопровідні частини. Повний захист персоналу від можливості дотику.

Таблиця 2.7 Ступінь захисту СП від води

Друга цифра	Клас СП	Ступінь захисту від води
0	Водозахищені	Захист відсутній
2	Каплезахищені	Захист від капель, які попадають під кутом до вертикалі 15°
3	Дощозахищені	Захист від дощу, який попадає під кутом 60° до вертикалі
4	Бризгозахищені	Захист від бризг
5	Потокозахищені	Захист від потоку води
6	Хвилезахищені	Захист від дії морської хвилі
7	Водонепроникні	Захист від попадання води при зануренні на певну глибину і час
8	Герметичні	Захист від попадання води при необмежено довгому зануренні СП на певну глибину

Таблиця 2.8 Оптимальні відстані між світильниками

Тип і характеристика світильника	Відношення а/Н (мал. 1.2)
1. Дзеркальний глибоковипромінювач, К	0,8
2. Дзеркальний глибоковипромінювач, Г	1,2
3. Емальований глибоковипромінювач, розсіювач з цільного скла	1,5
4. УПМ	1,7
5. Світильники підвищеної надійності і вибухонебезпечні	1,8

Розрахунок і вибір схем та живлячих ліній освітлення розглянемо в наступних розділах.

2.2.2. Розрахунок потужності освітлювальної установки точковим методом.

Точковий метод використовується при нерівномірному розподілі освітленості на робочих місцях. Точковий метод хоча самий точний, але вимагає значних по об'єму розрахунків. Тому розроблені допоміжні таблиці (графіки ізольокс) умовної освітленості окремих світильників в залежності від висоти над робочою поверхнею Н і від відстані проєкції світильника на горизонтальну площину до розглядуваної точки d. Дані таблиці (графіки ізольокс) приведені на мал. 1.14, 1.16, 1.17, 1.18 [2].

Розрахунок освітлення точковим методом застосовується для загального і місцевого освітлення, а також для розрахунку освітлення території.

Порядок розрахунку методом наступний:

1. Виходячи з умов оточуючого середовища вибираємо тип світильника і ламп (див П.2.1.1).
2. Визначаємо розряд зорових робіт, для якого за таб. 2.1 знаходимо нормовану освітленість – E.
3. На плані цеху намічаємо встановлення світильників, враховуючи рекомендації викладені в П.2.1.1.
4. Вибираємо точки з максимальною і мінімальною освітленістю на плані цеху. Вимірюємо до них відстані Н і d.
5. По графіках ізольокс для даного типу світильників визначаємо освітленість кожного світильника – e, (мал. 1.14, 1.16, 1.17, 1.18 [2]).
6. Знаходимо сумарну освітленість від всіх світильників, які розміщені поблизу розглядуваної точки - $\sum e$.
7. Визначаємо коефіцієнт додаткової освітленості – μ , ($\mu = 1,06 \text{ і } 1,7$).
8. За таб.2.2 знаходимо коефіцієнт запасу – K_3 .
9. Використовуючи формулу:

$$\Phi_{л} = \frac{1000 \cdot E \cdot K_3}{\mu \cdot \sum e}, \text{ лм,}$$

знаходимо розрахунковий потік однієї лампи.

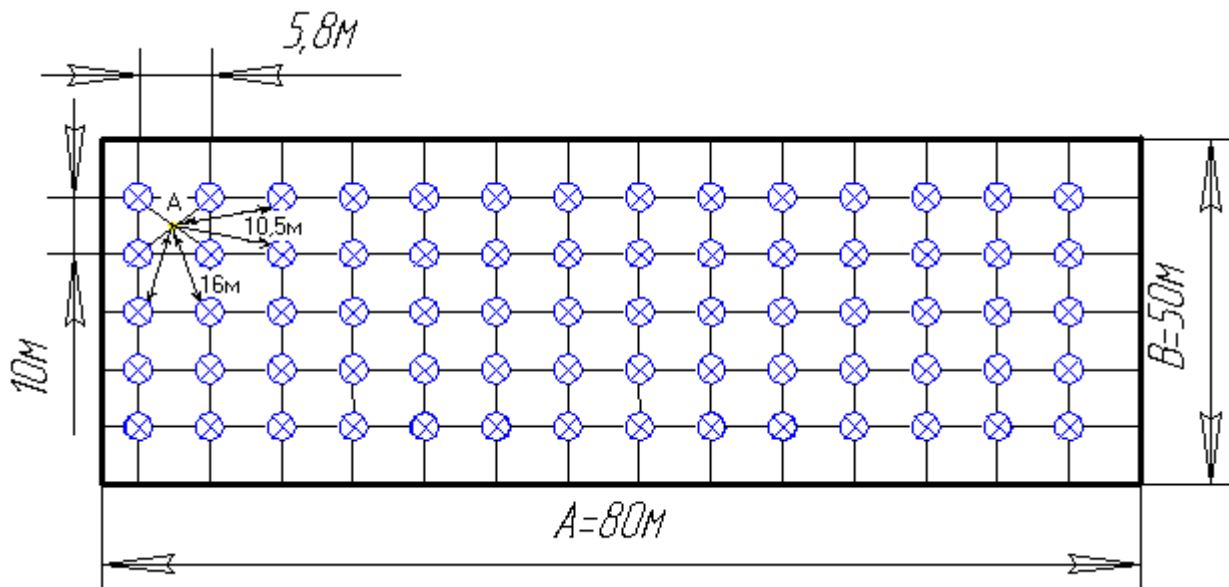
10. За таб. 1.1, 1.2 вибираємо стандартну лампу світловий потік якої відрізняється від розрахункового $\Phi_{л}$ не більше як на 10%.

Приклад 2.

Для цеха розглядуваного в прикладі 1 вибрати тип лампи і світильників, їх розміщення, використовуючи точковий метод розрахунку освітленості.

Рішення:

1. За таб.2.1 знаходимо для ремонтно-механічного цеха розряд зорових робіт IVa. Нормована освітленість при загальному освітленні $E=300$ лк.
2. Для освітлення приміщення застосовуємо лампи типу ДРЛ і світильники типу СЗ 4ДРЛ (див. Приклад 1).
3. Намічаємо установку світильників на плані цеха, при цьому керуємось вказівками приведеними в прикладі 1.



Мал.2.3. План цеха і розміщення світильників

4. Вибираємо точку А з мінімальною освітленістю. Визначаємо відстані H і d до кожного поблизу розміщеного світильника (див. мал.2.3). $H=12$ м (з прикладу 1).
5. За графіками ізолюкс для даного типу світильників знаходимо освітленість від кожного світильника – e (мал.1.14). Результати заносимо в таблицю 2.9.

Таблиця 2.9. Розрахунок освітлювальної установки точковим методом

Позначення точки	d , м	Кількість світильників, шт	e , лк	$\sum e$, лк
А	8,1	4	1,8	7,2
	10,5	2	1,0	2
	16	2	0,3	0,6
Підсумок	-	-	-	9,8

6. Приймаємо коефіцієнт додаткової освітленості

$$\mu = 1,1$$

7. За таб. 2.2 знаходимо коефіцієнт запасу

$$K_3 = 1,5$$

8. Розрахунковий світловий потік лампи

$$\Phi_{л} = \frac{1000 \cdot E \cdot K_3}{\mu \cdot \sum e} = \frac{1000 \cdot 300 \cdot 1,5}{1 \cdot 1 \cdot 9 \cdot 8} = 41000 \text{ лм}$$

9. Вибираємо стандартну лампу

ДРЛ- 700(6)-2, потужність лампи $P_{л} = 700 \text{ Вт}$

10. Встановлена потужність освітлення

$$P_{н.о.} = P_{л} \cdot N \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}$$

де $N = 70$ шт – кількість ламп в цеху.

Отримаємо:

$$P_{н.о.} = 700 \cdot 70 \cdot 10^{-3} = 49 \text{ кВт}$$

11. З додатку 1 вибираємо світильник типу СЗ 4 ДРЛ.

2.2.3. Розрахунок потужності освітлюваної установки методом питомої потужності

Наближений метод визначення потужності ламп в світильниках загального освітлення, розміщених рівномірно, за питомою потужністю W_o ($\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$), більш простий, ніж методи розрахунку приведені вище.

Значення питомої потужності освітлення W_o приведені в таб. 1.11 [2] Додатку 3 даних методичних вказівок.

Порядок розрахунку:

1. Вибираємо тип світильників і ламп виходячи із вказівок приведених в п.2.1.1.
2. За таб.2.4 вибираємо коефіцієнт відбиття стелі - ρ_n , стін - ρ_c , робочої поверхні - $\rho_{нов}$.
3. Намічаємо кількість світильників, виходячи з їх оптимального розміщення (див.п.2.1.1).
4. За таб. 1.11, [2] або з Додатку 3 даних вказівок знаходимо значення W_o .
5. Визначаємо розрахункову потужність однієї лампи

$$P_{л} = \frac{S \cdot W_o}{n}, \text{ Вт,}$$

де S - площа приміщення, м^2 ;

n - кількість світильників в приміщенні, штук.

6. Вибираємо найближчу по потужності лампу. Якщо, її потужність буде меншою або більшою 10% розрахункової, то здійснюємо перерахунок кількості світильників – n .

Приклад 3.

Вибрати кількість, тип світильників і ламп для цеха вихідні дані якого приведені в прикладі 1. Для розрахунку використати метод питомої потужності .

Рішення:

1. Для освітлення приймаємо лампи типу ДРЛ і світильник типу СЗ 4ДРЛ (див. приклад 1, $E=300$ лк).
2. За таб.2.4 вибираємо $\rho_n = 0,7$; $\rho_c = 0,5$; $\rho_{нов} = 0,3$ (див. приклад 1).
3. Намічаємо кількість світильників, їх розміщення (див. приклад 1)

Площа цеха

$$S = A \cdot B = 80 \cdot 50 = 4000 \text{ м}^2$$

4. З Додатку 3 знаходимо питому потужність освітлення

$$W_o = 12,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

5. Визначаємо розрахункову потужність однієї лампи

$$P_{л} = \frac{S \cdot W}{n} = \frac{4000 \cdot 12,2}{70} = 697 \text{ Вт}$$

6. Вибираємо стандартну лампу типу ДРЛ – 700(6)-2 потужністю $P_{л} = 700$ Вт
Встановлена потужність освітлення цеха буде становити

$$P_{н.о.} = 700 \cdot 70 \cdot 10^{-3} = 49 \text{ кВт}$$

7. Приймаємо тип світильника СЗ-4ДРЛ (Додаток 1).

2.3. Визначення розрахункового навантаження на освітлення.

Розрахунок навантаження на освітлення визначається за допомогою коефіцієнта попиту освітлюваних установок - K_{co} (таб.2.10).

За даним методом розрахункове навантаження на освітлення визначається із співвідношення

$$P_{p,o} = P_{н.о.} \cdot K_{co}, \text{ кВт},$$

де $P_{н.о.}$ - встановлена потужність освітлюваної установки, кВт (див.п.2.1);
 K_{co} - коефіцієнт попиту освітлюваної установки (таб.2.10).

$$Q_{po} = P_{p,o} \cdot \text{tg} \varphi_0, \text{ квар},$$

де $\text{tg} \varphi_0$ - відповідає середньозваженому $\cos \varphi_0$ вибраного типу світильників (таб.2.11).

Таблиця 2.10. Значення коефіцієнта попиту освітлюваного навантаження промислових будівель і споруд.

Тип будівель і споруд	Коефіцієнт попиту, K_{co}
1. Дрібні промислові будівлі і побутові приміщення	1,0
2. Виробничі будівлі, які складаються з окремих великих блоків	0,95
3. Теж, з окремих приміщень	0,85
4. Офісні і лабораторні приміщення	0,8
5. Склади і електричні підстанції	0,6
6. Аварійне і зовнішнє освітлення	1,0

Таблиця 2.11. Коефіцієнт потужності різних типів ламп

Тип ламп	$\cos \varphi_0$	$\tan \varphi_0$
1. Лампи розжарення	1,0	0
2. Лампи ДРЛ, ДРИ, ДНАТ з компенсацією реактивної потужності	0,9	0,484
3. Люмінісцентні лампи	0,9	0,484

2.4. Визначення розрахункового навантаження силових електроспоживачів.

Вихідними даними розрахунку електричних навантажень від силових електроспоживачів являється план цеха з розміщенням електрообладнання, а також потужності окремих електроспоживачів. Тому перед тим як приступити до розрахунку електричних навантажень, необхідно мати план цеха з розміщенням електрообладнання, а також намітити траси для прокладки живильних і розподільчих ліній цеха.

При розрахунку електричних навантажень силових споживачів електроенергії їх слід групувати в групи з однаковим режимом роботи і для кожної з цих груп визначити розрахункові потужності, окремо для кожної розподільчої шафи і шинопроводу.

Для розрахунку електричних навантажень, споживачі електроенергії частіше всього використовують метод з використанням коефіцієнта максимуму K_m (метод впорядкованих діаграм).

За даним методом розрахункове активне навантаження визначається із співвідношення

$$P_p = K_m \cdot K_n \cdot P_n = K_m \cdot P_{cm}, \text{ кВт}, \quad (2.8)$$

де K_u - коефіцієнт використання (таб.4.8, [1]);

K_m - коефіцієнт максимуму, визначається з графіка (мал.4.1, [1]) або за таб.4-3, [1] в залежності від коефіцієнта використання - K_u і ефективного числа споживачів електроенергії - n_e ;

P_{cm} - середня активна потужність за максимально завантаженою зміну, визначається із співвідношення

$$P_{cm} = P_n \cdot K_n, \text{ кВт} \quad (2.9)$$

n_e - ефективне число споживачів електроенергії, визначається із співвідношення

$$n_e = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{ni} \right)^2}{\sum_{i=1}^n (P_{ni})^2}, \text{ штук,} \quad (2.10)$$

де P_{ni} - номінальна (встановлена) потужність і-того електроспоживача в групі;
 n - кількість споживачів електроенергії в групі.

Методи спрощеного розрахунку ефективного числа споживачів :

1. При кількості фактичних споживачів в групі чотири і більше допускається приймати $n_e = n$, якщо $m = \frac{P_{n \max}}{P_{n \min}} \leq 3$,

де $P_{n \max}$ - номінальна потужність найбільш потужного споживача в групі;
 $P_{n \min}$ - номінальна потужність найменш потужного споживача в групі.

2. Якщо в групі споживачів $m \leq 3$, а $Ku \geq 0,2$, то ефективне число споживачів електроенергії можна визначити із співвідношення

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_{ni}}{P_{n \max}}, \text{ штук}$$

(2.11)

Якщо в результаті розрахунку отримаємо, $n_e \leq n$, то слід прийняти $n_e = n$.

3. Якщо в групі споживачів електроенергії $m \leq 3$, а $Ku \leq 0,2$, зручно користуватися

кривими приведеними на мал.4-3,[1] або таблицями (4-5, [1]), які побудовані за формулою

$$n_e \approx 0,95 \frac{P_n^2}{\frac{P_{n1}}{n_1} + \frac{(P_n - P_{n1})^2}{n - n_1}}, \text{ штук,}$$

(2.12)

де P_n - сумарна встановлена потужність споживачів електроенергії в групі;
 n - загальна кількість споживачів групи;

P_{n1} - сумарна встановлена потужність найбільш потужних n_1 споживачів електроенергії в групі;

n_1 - кількість найбільш потужних споживачів в групі, потужність яких становить не менше половини потужності найбільш потужного споживача.

Реактивне розрахункове навантаження у відповідності з практикою проектування приймається:

$$Q_p = 1,1 \cdot Q \text{ см, при } n_e \leq 10$$

(2.13)

$$Q_p = Q_{см}, \text{ при } \frac{n_e}{i \cdot 10^3} \quad (2.14)$$

Споживачі електроенергії з практично постійним графіком навантаження ($K_u \geq 0,60$) слід групувати в окремі групи і для них розрахункове навантаження, визначається із співвідношення

$$P_p = P_{см} = P_n \cdot K_u, \text{ кВт}, \quad (2.15)$$

де P_n - сумарна встановлена потужність споживачів групи з $K_u \geq 0,60$.

Якщо в групі кількість споживачів n не перевищує 3, тобто $\frac{n_e}{i}$, то розрахункова потужність групи приймається рівною сумарній встановленій потужності споживачів групи, тобто

$$P_p = P_n, \text{ кВт}; \quad (2.16)$$

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg} \varphi, \text{ квар}, \quad (2.17)$$

де $\text{tg} \varphi$ - відповідає середньозваженому $\cos \varphi_{св}$ споживачів групи, визначається із співвідношення

$$\cos \varphi_{св} = \frac{P_{n1} \cdot \cos \varphi_1 + P_{n2} \cdot \cos \varphi_2 + \dots + P_{nn} \cdot \cos \varphi_n}{P_{n1} + P_{n2} + \dots + P_{nn}},$$

де $P_{n1}, P_{n2}, \dots, P_{nn}$ - потужності окремих споживачів групи, кВт;

$\cos \varphi_1, \cos \varphi_2, \dots, \cos \varphi_n$ - коефіцієнт потужності окремих споживачів групи;

n - кількість споживачів в групі.

Для кожної із утворених груп споживачів також визначається середньозважені коефіцієнти використання - $K_{исв}$ із співвідношення

$$K_{исв} = \frac{P_{n1} \cdot K_{u1} + P_{n2} \cdot K_{u2} + \dots + P_{nn} \cdot K_{un}}{P_{n1} + P_{n2} + \dots + P_{nn}},$$

де $K_{u1}, K_{u2}, \dots, K_{un}$ - коефіцієнт використання окремих споживачів в групі.

Якщо в групі споживачів з кількістю $\frac{n_e}{i}$, приведена кількість споживачів $\frac{n_e}{i}$, то розрахункове навантаження для такої групи визначається із співвідношення

$$P_p = P_n \cdot K_{зз}, \text{ кВт}, \quad (2.20)$$

де $K_{зз}$ - коефіцієнт завантаження, який приймається для тривалого режиму роботи рівним 0,9; для повторно - короткочасного режиму - 0,75 і для тривалого автоматичного режиму - 1.

Приклад 4.

Визначити розрахункове навантаження механоскладального цеха методом впорядкованих діаграм. Встановлена потужність споживачів цеха $P_H = 2040 \text{ кВт}$. Відомість електричних навантажень цеха приведена в таб.2.12. План цеха з розміщенням споживачів електроенергії і схемою розподільних живлячих мереж приведений на мал.7.7.

Таблиця 2.12. Відомість електричних навантажень механо- складального цеха

Найменування і тип споживача	Кількість, штук	Встановлена потужність одного споживача, кВт	Коефіцієнт потужності	Коефіцієнт використання
1.Токарно-гвинторізний верстат, ТН	9	11,9	0,5	0,2
2. Токарно-гвинторізний верстат, 1К-625	18	12	0,5	0,2
3. Токарно- револьверний верстат, 1Н-318	9	3,7	0,5	0,2
4. Плоско- шліфувальний верстат, 3А-722	24	19,6	0,5	0,2
5. Токарно- карусельний верстат І516	8	63,9	0,65	0,17
6.Поздовжньо-стругальний верстат	5	119,2	0,65	0,17
7. Кран-балка, 3Т	4	5,7	0,5	0,1
8. Кран-мостовий, 5Т	2	9,4	0,5	0,1
9. Вентилятори витяжні	10	2,2	0,8	0,65
Підсумок	89	-	-	-

Примітка: Коефіцієнт потужності - $\cos \varphi$, коефіцієнт використання - $K_{\text{и}}$ для даного типу обладнання прийняті за таб.4-8, [1].

Групуємо споживачі електроенергії в групи для кожного розподільчого та магістрального шинопроводів. Для кожної групи споживачів електроенергії виділяємо споживачі з однаковим режимом роботи і знаходимо для кожної групи розрахункові активну та реактивну потужність.

Група І (Шинопровід ШРА 1)

Встановлені споживачі електроенергії:

1.Токарно-гвинторізний верстат, ТН- $n_1 = 9$ шт; $P_{H1} = 11,9$ кВт;

2.Токарно-гвинторізний верстат , 1К625- $n_2 = 5$ шт; $P_{H2} = 12,0$ кВт

Сумарна встановлена потужність споживачів групи

$$P_H = n_1 \cdot P_{H1} + n_2 \cdot P_{H2} = 9 \cdot 11,9 + 5 \cdot 12 = 167,8 \text{ кВт}$$

Відношення потужності найбільш потужного споживача до найменш потужного споживача в групі

$$m = \frac{P_{н \cdot \max}}{P_{н \cdot \min}} = \frac{12 \cdot 0}{11,9} = 1,01$$

Значить можна прийняти ефективне число споживачів електроенергії рівним дійсній кількості споживачів групи, тобто

$$n_e = n = n_1 + n_2 = 9 + 5 = 14 \text{ шт.}$$

Згідно таб.2.12 коефіцієнт використання споживачів

$$K_{u1} = 0,2; \quad K_{u2} = 0,2$$

Тоді, середньозважений коефіцієнт використання споживачів групи буде рівний

$$K_{ucв} = \frac{n_1 \cdot P_{н1} \cdot K_{u1} + n_2 \cdot P_{н2} \cdot K_{u2}}{n_1 \cdot P_{н1} + n_2 \cdot P_{н2}} = \frac{9 \cdot 11,9 \cdot 0,2 + 5 \cdot 12 \cdot 0,2}{9 \cdot 11,9 + 5 \cdot 12} = 0,2$$

Згідно таб.2.12 коефіцієнт потужності споживачів

$$\cos \square_1 = 0,5; \quad \cos \square_2 = 0,5$$

Тоді середньозважений коефіцієнт потужності споживачів групи буде рівний

$$\cos \square_{св} = \frac{n_1 \cdot P_{н1} \cdot \cos \square_1 + n_2 \cdot P_{н2} \cdot \cos \square_2}{n_1 \cdot P_{н1} + n_2 \cdot P_{н2}} = \frac{9 \cdot 11,9 \cdot 0,5 + 5 \cdot 12 \cdot 0,5}{9 \cdot 11,9 + 5 \cdot 12} = 0,5$$

З таб.4-3,[2] при $n_e = 14$ і $K_u = 0,2$, знаходимо значення коефіцієнта максимуму $K_M = 1,67$.

Знаходимо середні за найбільш завантажену потужності групи

$$P_{см} = P_n \cdot K_{ucв} = 167,8 \cdot 0,2 = 33,6 \text{ кВт};$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \text{tg} \square_{св} = 33,6 \cdot 1,73 = 58,1 \text{ квар},$$

де $\text{tg} \square_{св} = 1,73$ - відповідає $\cos \square_{св} = 0,5$ споживачів групи.

Знаходимо розрахункові максимальні потужності споживачів групи

$$P_p = P_{см} \cdot K_M = 33,6 \cdot 1,67 = 57,01 \text{ кВт};$$

$$Q_p = Q_{см} = 58,1 \text{ квар}, \text{ при } n_e = 14; \quad i = 10 \text{ А};$$

$$S_p = \sqrt{P_{p,2} + Q_{p,2}} = \sqrt{57,0^2 + 58,1^2} = 81,9 \text{ кВА.}$$

Група II (Шинопровід ШРА2)

До даного шинопроводу під'єднано розподільчий щит РЩ- 2 від якого живляться споживачі електроенергії:

9. Вентилятори – n=3 штуки; $P_H = 2,2$ кВт

Сумарна встановлена потужність споживачів групи під'єднаних до РЩ-2

$$P_H = n \cdot P_H = 3 \cdot 2,2 = 6,6 \text{ кВт;}$$

$$m = \frac{2,2}{2,2} = 1 \text{ шт.}$$

Значить можна прийняти $n_e = n = 3$ штуки.

За таб.2.12 $K_u = 0,65$, $\cos \varphi = 0,8$; $\operatorname{tg} \varphi = 0,75$

Оскільки в розглядуваній групі $n = 3$ шт., то можна прийняти розрахункову потужність групи рівною встановленій потужності, тобто

$$P_p = P_H = 6,6 \text{ кВт,}$$

тоді

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 6,6 \cdot 0,75 = 4,95 \text{ квар.}$$

$$S_p = \sqrt{6,6^2 + 4,95^2} = 8,3 \text{ кВА}$$

До шинопровода ШРА-2 також під'єднані :

2.Токарно- гвинторізний верстат – n=12 штук; $P_H = 12$ кВт

Сумарна встановлена потужність споживачів групи

$$P_H = n \cdot P_H = 12 \cdot 12 = 144 \text{ кВт}$$

$$m = \frac{12}{12} = 1 \text{ шт.}$$

Значить можна прийняти

$$n_e = n = 12 \text{ штук}$$

За таб. 2.12 $K_u = 0,2$; $\cos \varphi = 0,5$; $\operatorname{tg} \varphi = 1,73$

За таб. 4-3,[2] при $n_e = 12$ і $K_u = 0,2$ знаходимо коефіцієнт максимуму $K_M = 1,75$.

Знаходимо середні потужності за найбільш завантажену зміну

$$P_{cm} = P_n \cdot K_n = 144 \cdot 0,2 = 28,8 \text{ кВт};$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 28,8 \cdot 1,73 = 49,8 \text{ квар}$$

Розрахункові потужності групи споживачів

$$P_p = P_{cm} \cdot K_M = 28,8 \cdot 1,75 = 50,4 \text{ кВт};$$

$$Q_p = Q_{cm} = 49,8 \text{ квар, при } \begin{matrix} n_e = 12 \\ i 10 i \end{matrix};$$

$$S_p = \sqrt{57^2 + 54,75^2} = 70,9 \text{ кВа}$$

Знайдемо сумарні навантаження на розподільчій шинопровід ШРА-2

$$n = 3 + 12 = 15 \text{ штук};$$

$$P_n = 6,6 + 144 = 150,6 \text{ кВт};$$

$$P_p = 6,6 + 50,4 = 57,0 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 4,95 + 49,8 = 54,75 \text{ квар};$$

$$S_p = \sqrt{57^2 + 54,75^2} = 79,0 \text{ кВА};$$

Подальші розрахунки зводимо в таблицю 2.13.

Таблиця 2.3 Розрахунок електричних навантажень розподільчих мереж

Найменування споживачів	К-сть, шт	Встановлена потужність, кВт		m	K _ц	n _е , шт	cosφ/tgφ	K _м	Середня потужність		Розрахункова потужність		
		Од-ного	Всіх						P _{см} , кВт	Q _{см} , квар	P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Магістраль М1 (ШМА)													
ШРА1													
1. Токарно-гвинторізний верстат, ТН	9	11,9	107,8	-	0,2	-	0,5/1,73						
2. Токарно-гвинторізний верстат, 1К625	5	12,0	60	-	0,2	-	0,5/1,73						
Всього по ШРА1	14	-	167,8	1,01	0,2	14	0,5/1,73	1,67	39,6	58,1	57,0	58,1	81,9
ШРА2													
РЦ2													
9. Вентилятори витяжні	3	2,2	6,6	-	0,65	-	0,8/0,75						
Всього по РЦ2	3	-	6,6	1	0,65	3	0,8/0,75	-	-	-	6,6	4,95	8,3
2. Токарно-гвинторізний верстат, 1К625	12	12	144	1	0,2	12	0,5/1,73	1,75	28,8	49,8	50,4	49,8	70,9
Всього по ШРА2	15	-	150,6	-	-	-	-	-	-	-	57,0	54,75	79,0
ШРА3													
4. Плоскошліфувальний верстат, 3А722	6	19,6	117,5	-	0,2	-	0,5/1,73						
Всього по ШРА3	6	-	117,5	1	0,2	6	0,5/1,73	2,3	23,5	40,6	54	59,4	80
ШРА4													
4. Плоскошліфувальний верстат, 3А722	7	19,6	137,0	-	0,2	7	0,5/1,73	2,2	-				
Всього по ШРА4	7	-	137,0	1	0,2	7	0,5/1,73	2,2	27,4	47,4	60,4	51,8	89,6
ШРА5													
3. Токарно-револьверний верстат 1М318	5	3,7	18,5	-	0,2		0,5/1,73						
4. Плоскошліфувальний верстат, 3А722	6	19,6	117,5	-	0,2		0,5/1,73						
Всього по ШРА5	11	-	136,0	5,3	0,2	8	0,5/1,73	1,9	27,2	47	51,6	51,7	69,8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ШРА6													
3. Токарно-револьверний верстат 1М318	4	3,7	14,1		0,2		0,5/1,73						
4. Плоскошліфувальний верстат, 3А722	6	19,6	117,5		0,2		0,5/1,73						
Всього по ШРА6	10	-	131,6	5,3	0,2	7	0,5/1,73	2,0	26,3	45,5	52,6	50,1	67,5
Підсумок по ШМА1	63	-	840,5	-	-	-	-	-	-	-	332,6	325,9	465,6
Магістраль М2 (ШМА)													
ШРА7													
6. Повздовжньо-стругальний верстат	2	119,2	238,4	-	0,17	-	0,65/1,17						
Всього по ШРА7	2	-	238,4	1	0,17	2	0,65/1,17	-	-	-	238,4	278,9	366,0
ШРА8													
РЦ - 3													
9. Вентилятори витяжні	2	2,2	4,4	-	0,65	-	0,8/0,75						
7. Кран-балка, 3 т	1	5,7	5,7	-	0,1	-	0,5/1,73						
Всього по РЦ3	3	-	10,1	2,6	0,34	2	0,63/1,23	-	-	-	10,1	12,4	16,0
7. Кран-балка, 3 т	1	5,7	5,7	-	0,1	-	0,5/1,73						
6. Повздовжньо-стругальний верстат	3	119,2	357,6	-	0,17	-	0,65/1,17						
Всього	4	-	363,3	21	0,16	4	0,65/1,17	3,11	58,1	68,0	180,7	74,8	195,6
Всього по ШРА8	7	-	373,4	-	-	-	-	-	-	-	190,8	87,2	210,0
ШРА9													
5. Токарно-карусельний верстат 1516	4	68,9	275,0	-	0,17	-	0,65/1,17						
Всього по ШРА9	4	-	275,0	1	0,17	4	0,65/1,17	3,11	46,8	54,7	140	60,1	153,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ШРА10													
РЦ4													
9. Вентилятори витяжні	3	2,2	6,6		0,65	-	0,8/0,75						
7. Кран-балка, 3 т	1	5,7	5,7		0,1	-	0,5/1,73						
Всього по РЦ4	4	-	12,3	2,6	0,4	4	0,66/1,14	1,87	4,92	5,6	9,2	6,2	11,1
8. Кран-балка, 3 т	1	5,7	5,7	-	0,1	-	0,5/1,73						
5. Токарно-револьверний верстат 1516	4	68,9	275,6	-	0,17	-	0,65/1,17						
Всього	5	-	281,3	12,1	0,17	5	0,65/1,17	2,87	47,8	56,0	137,2	61,5	150,3
Всього по ШРА6	9	-	293,6	-	-	-	-	-	-	-	146,4	67,7	161,3
Підсумок по ШМА 2	20	-	1180,4	-	-	-	-	-	-	-	715,6	493,9	869,5
РЦ1													
8. Мостовий кран, 5 т	2	9,4	18,8		0,1		0,5/1,73						
Всього по РЦ1	2	-	18,8	1	0,1	2	0,5/1,73	-	-	-	18,8	32,5	37,4
Підсумок по цеху	89	-	2039,7	-	-	-	-	-	-	-	972,8	852,3	1293,4

2.5. Визначення сумарного розрахункового навантаження цеха

Сумарна розрахункова потужність цеха:

$$P_{pe} = P_p + P_{po}, \text{ кВт}; \quad (2.21)$$

$$Q_{pe} = Q_p + Q_{po}, \quad \text{квар} \quad (2.22)$$

де P_p - розрахункове активне навантаження силових споживачів цеху, кВт;
 Q_p - розрахункове реактивне навантаження силових споживачів цеху, квар;
 P_{po} - розрахункове активне навантаження освітлювальних споживачів цеху, кВт;
 Q_{po} - розрахункове реактивне навантаження освітлювальних споживачів цеху,
квар.

Втрати потужності в елементах цехових мереж:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{pe}, \text{ кВт}; \quad (2.23)$$

$$\Delta P_l = 0,03 \cdot S_{pe}, \text{ кВт} \quad (2.24)$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{pe}, \text{ квар} \quad (2.25)$$

де ΔP_l - втрати активної потужності в мережах цеху;
 ΔP_T - втрати активної потужності в силових трансформаторах цеху;
 ΔQ_T - втрати реактивної потужності в силових трансформаторах цеху.

В підсумку з врахуванням втрат потужності в елементах цехових мереж сумарні навантаження цеху будуть становити:

$$P_p = (P_{pe} + \Delta P_T + \Delta P_l) \cdot K_{pm}, \text{ кВт}; \quad (2.26)$$

$$Q_p = (Q_{pe} + \Delta Q_T) \cdot K_{pm}; \text{ квар} \quad (2.27)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{ кВА}, \quad (2.28)$$

де K_{pm} - коефіцієнт різночасності максимумів навантажень окремих груп споживачів електроенергії цеха, може бути прийнятий в межах – 0,9÷0,95.

Приклад 5.

Визначити розрахункове сумарне навантаження цеха, якщо відомо:

$$P_p = 825,8 \text{ кВт}; \quad Q_p = 566,6 \text{ квар};$$

$$P_{po} = 46,5 \text{ кВт}; \quad Q_{po} = 22,5 \text{ квар}.$$

Рішення:

1. Знаходимо сумарні розрахункові навантаження цеха від силових споживачів електроенергії і споживачів освітлення:

$$P_{pe} = P_p + P_{po} = 825,8 + 46,5 = 872,3 \text{ кВт};$$

$$Q_{pe} = Q_p + Q_{po} = 566,5 + 22,5 = 589,1 \text{ квар};$$

$$S_{pe} = \sqrt{P_{pe}^2 + Q_{pe}^2} = \sqrt{872,3^2 + 589,1^2} = 1030 \text{ кВА}$$

2. Визначаємо втрати потужності в елементах цехових мереж:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{pe} = 0,02 \cdot 1030 = 20,6 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_l = 0,03 \cdot S_{pe} = 0,03 \cdot 1030 = 30,9 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{pe} = 0,1 \cdot 1030 = 103,0 \text{ квар}.$$

3. Розрахункові сумарні навантаження цеху з врахуванням втрат потужності в елементах цехових мереж:

$$P_p = (P_{pe} + \Delta P_T + \Delta P_l) \cdot K_{pm} = (872,3 + 20,6 + 30,9) \cdot 0,95 = 876 \text{ кВт};$$

$$Q_p = (Q_{pe} + \Delta Q_T) \cdot K_{pm} = (589,1 + 103) \cdot 0,95 = 662 \text{ квар};$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{876^2 + 662^2} = 1100 \text{ кВА},$$

де $K_{pm} = 0,95$ - коефіцієнт різночасності максимумів окремих груп споживачів цеха.

