

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 126 стор. тексту, 16 рис., 29 табл., 13 бібл. найм.

Виконано розрахунок електропостачання цехової електричної мережі. Розроблені й прораховані два варіанти схем електропостачання токарного цеху заводу легкового машинобудування. Виконані економічні розрахунки з метою визначення оптимального варіанта схеми, параметрів електромережі і її елементів.

Розраховані і обрані джерела живлення, комутаційно-захисна апаратура, кабельні лінії. Зроблено оцінку якості напруги в цеховій мережі.

Розраховані струми короткого замикання. Проведено розрахунок захисту кабельних ліній від усіх видів ушкоджень.

Зроблено світлотехнічний і електричний розрахунки системи освітлення токарного цеху. В результаті проведених розрахунків були підібрані економічні світлодіодні світильники, які відповідають нормам освітленості токарного цеху.

Ключові слова: електроприймач, цехова електрична мережа, знижувальна підстанція, джерело живлення, центр електричних навантажень, силовий кабель, силові пункти, автоматичний вимикач, аварійне освітлення, запобіжник, світлодіод, світильник.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	9
1.1 Характеристика споживача і технічних показників електроприймачів проєктованого об'єкта	9
1.2 Розрахунок електричних навантажень цехової мережі	12
1.3 Визначення центру електричних навантажень і вибір розташування цехової трансформаторної підстанції	13
1.4 Проєктування схем внутрішньоцехового електропостачання	21
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА	31
2.1 Вибір схеми ЦТП, типу, числа та потужності трансформаторів з урахуванням компенсації реактивної потужності	31
2.2 Вибір варіанту схем на низькій стороні напруги	34
2.3 Вибір обладнання на стороні ВН	49
2.4 Вибір варіанту схеми системи електропостачання цеху	49
2.5 Розрахунок струмів короткого замикання	53
2.6 Конструктивне виконання цехової мережі та підстанції	62
РОЗДІЛ 3. МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ	62
3.1 Характеристика приміщень і вимоги, що пред'являються до системи електричного освітлення	62
3.2 Вибір системи електричного освітлення, нормованої освітленості, джерела світла	64
3.3 Вибір приладів електричного освітлення і їх розташування в плані приміщення	65
3.4 Світлотехнічний розрахунок загального рівномірного освітлення. Вибір числа і потужності джерел світла	68
3.5 Розрахунок аварійного освітлення	77
3.6 Електротехнічний розрахунок електричного освітлення	79
РОЗДІЛ 4. РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ І АВТОМАТИКА	84
4.1 Розрахунок захисних характеристик автоматичного вимикача найбільш завантаженої з ліній, що відходять QF1	84
4.2. Розрахунок захисних характеристики ввідного автоматичного вимикача QF2	86
4.3. Розрахунок захисних характеристики секційного автоматичного	

вимикача QF3	87
4.4. Вибір плавкої вставки запобіжника FU1 на ВН підстанції	88
4.5. Розрахунок захистів кабельної лінії 10кВ	89
РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ І АНАЛІЗ ЯКОСТІ НАПРУГИ ЦЕХІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ	92
5.1 Розрахунок системи компенсації реактивної потужності в цеховій електричній мережі	92
5.2. Аналіз якості напруги цехової мережі і розрахунок відхилення напруги для характерних електроприймачів	94
РОЗДІЛ 6. ЕКСПЛУАТАЦІЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	99
6.1 Нормування і планування електроспоживання	99
6.2 Організація обліку і контролю електроенергії	100
6.3 Задача раціонального регулювання добового графіка активного навантаження	104
6.4 Регулювання режиму електроспоживання при дефіциті потужності в енергосистемі	109
6.5 Економія електроенергії в промислових електроустановках	111
РОЗДІЛ 7. ОХОРОНА ПРАЦІ	116
ВИСНОВКИ	121
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	123
Додаток А – Генеральний план механічного цеху	124
Додаток Б – Схема електропостачання токарного цеху (варіант №1)	125
Додаток С – Схема електропостачання токарного цеху (варіант №2)	126

ВСТУП

Технічний прогрес в промисловості тісно пов'язаний зі створенням і впровадженням уніфікованого обладнання з поліпшеними енергетичними характеристиками і великою одиничною потужністю. Впровадження обладнання призводить до зростання електроспоживання. Тенденція зростання питомої витрати електроенергії триватиме і надалі. Це обумовлює подальше вдосконалення систем електропостачання.

Безперервний розвиток і ускладнення техніки і технології викликають необхідність у вирішенні низки складних науково-технічних завдань, таких як:

- Максимальне зменшення розгалуженості електричних мереж на основі наближення джерел живлення до центрів електричних навантажень і застосування радіальних схем розподілу електричної енергії;

- Розробка науково-обґрунтованих керівних і методичних положень щодо визначення електричних навантажень підприємств;

- Удосконалення існуючих, розробка і промислове впровадження принципово нових способів і засобів захисту обслуговуючого і ремонтного персоналу від ураження електричним струмом;

- Розробка та промислове впровадження нових і сучасних засобів телекерування, телесигналізації і дистанційного контролю в системах електропостачання підприємств.

У березні 2006 року прийнята "Енергетична стратегія України на період до 2030 року", в якій визначені основні напрямки розвитку паливно-енергетичного комплексу. Головними цілями енергетичної стратегії є зменшення енергоємності економіки, інтеграція української енергосистеми в європейську і зниження енергозалежності України за рахунок використання власних ресурсів.

Це диктує необхідність вдосконалення промислової електроенергетики: створення економічних і надійних систем електропостачання, автоматизованого електроприводу і систем управління.

Подальше вдосконалення систем електропостачання повинно ув'язуватися з вдосконаленням технології робіт і новими вимогами до електропостачання. У зв'язку з цим важливе місце в системі підготовки інженерів займають питання, пов'язані з передачею, перетворенням і розподілом електроенергії між електроприймачами промислових підприємств.

Нижче перераховані основні сучасні проблеми в області електропостачання промислових підприємств.

- раціональна побудова систем електропостачання промислових підприємств;

- питання компенсації реактивної потужності в системах електропостачання промислових підприємств;

- застосування змінного струму, оперативного, для релейного захисту та автоматики;

- правильне визначення очікуваних електричних навантажень;

- питання конструювання універсальних зручних в експлуатації цехових електричних мереж;

- комплектне виконання цехових і загальнозаводських систем живлення і конструкції підстанцій.

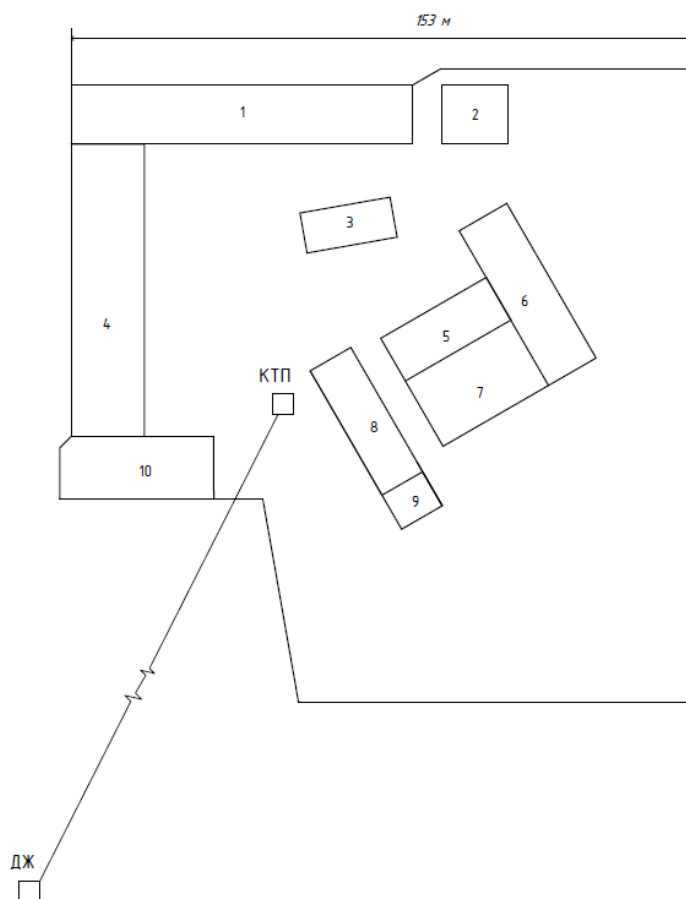
Тому метою дипломного проекту є розрахунок та проектування сучасного електропостачання цехової електричної мережі.

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

1.1. Характеристика споживача і технічних показників електроприймачів проектуваного об'єкта

У проекті розробляється схема електропостачання токарного (механічного) цеху заводу легкого машинобудування (рис. 1.1). Основна спеціалізація заводу: випуск технологічного обладнання для взуттєвої, швейної, шкіряної і хутряної промисловості. Завод оснащений металорізальних, зварювальним устаткуванням, обладнанням для виробництва виробів з пластмас.

Завод легкого машинобудування складається з 10 виробничих приміщень. Площа підприємства 23409 м².



Завод складається з наступних виробничих підрозділів:

1. Пакувальний цех;
2. Котельня;
3. Їдальня;
4. Токарний (механічний) цех;
5. Склад електродвигунів;
6. Малярський цех;
7. Збиральний цех;
8. Інструментальний цех;
9. Ділянка оксидровки;
10. Адміністративно-побутовий корпус.

Рисунок 1.1 – Генеральний план заводу

Технологічне обладнання, яке споживає електроенергію, розміщено з урахуванням дотримання норм і правил експлуатації. Розміщення в цеху

електрообладнання є компактним і зручним з точки зору умов роботи робочого персоналу.

Токарний цех має розміри 72 × 18 м, загальною площею 1296 м². Встановлена потужність електроприймачів цеху 814,8 кВт. Загальна кількість електроприймачів – 70 (Додаток А).

Перелік електроприймачів (ЕП) встановлених в цеху з зазначенням їх номінальної потужності і технічних показників представлений в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Номінальні потужності ЕП токарного цеху

№ ЕП за планом	Найменування електроприймачів	Тип	Рп, кВт	ПВ пасп, %	cosφ пасп	Кв	Кз	Категор.	Ун, В	Кп
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Прес гідравлічний	П6223	34	40	0,65	0,18	0,75	2	0,38	5
2	Прес гідравлічний	П6223	34	40	0,65	0,18	0,75	2	0,38	5
3	Прес гідравлічний	П6223	34	40	0,65	0,18	0,75	2	0,38	5
4	Прес гідравлічний	П6223	34	40	0,65	0,18	0,75	2	0,38	5
5	Кран-балка консольний Q=1,5 т	КТ-7501	12	25	0,5	0,25	0,75	2	0,38	5
6	Верстат вертикально-свердильний	2М135	19,7	60	0,6	0,15	0,75	3	0,38	5
7	Верстат вертикально-свердильний	2М135	19,7	60	0,6	0,15	0,75	3	0,38	5
8	Верстат вертикально-свердильний	2М135	19,7	60	0,6	0,15	0,75	3	0,38	5
9	Верстат радіально-свердильний	2М35	8	60	0,6	0,15	0,75	3	0,38	5
10	Верстат радіально-свердильний	2170	15	40	0,6	0,15	0,75	3	0,38	5
11	Верстат радіально-свердильний	2170	15	40	0,6	0,15	0,75	3	0,38	5
12	Верстат радіально-свердильний	2170	15	40	0,6	0,15	0,75	3	0,38	5
13	Верстат токарно-револьверний	1П371	15	60	0,55	0,18	0,75	3	0,38	5
14	Верстат токарно-револьверний	1П371	15	60	0,55	0,18	0,75	3	0,38	5
15	Домкрат електрифікований	4АМ132М4	1,5	40	0,55	0,15	0,75	2	0,38	5
16	Машина шарнірна для різання листового металу	АСШ-70	10	40	0,6	0,18	0,75	3	0,38	5
17	Пневмогайковёрт	ИЭ-3115	5	60	0,65	0,2	0,75	3	0,38	5
18	Пневмошліфувальна машина	ИП-2204А	2,5	60	0,5	0,15	0,75	3	0,38	5
19	Верстат довбальний	7Д430	10	60	0,6	0,1	0,75	3	0,38	5
20	Верстат довбальний	7Д430	10	60	0,6	0,1	0,75	3	0,38	5
21	Верстат вертикально-фрезерний	6М10	10	60	0,6	0,15	0,75	3	0,38	5
22	Верстат вертикально-фрезерний	6М10	10	60	0,6	0,15	0,75	3	0,38	5
23	Верстат токарно-гвинторізний	1М63	15	60	0,55	0,2	0,75	3	0,38	5
24	Верстат токарно-гвинторізний	1К62Б	11	60	0,55	0,2	0,75	3	0,38	5
25	Довбальний верстат	7Д430	10	60	0,6	0,1	0,75	3	0,38	5
26	Довбальний верстат	7Д430	10	60	0,6	0,1	0,75	3	0,38	5
27	Верстат токарно-гвинторізний	1Б61	11	60	0,55	0,2	0,75	3	0,38	5
28	Верстат токарно-гвинторізний	1Б61	11	60	0,55	0,2	0,75	3	0,38	5
29	Електрошліфувальна машина	ИЭ2103А	1,1	60	0,5	0,1	0,75	3	0,38	5
30	Верстат точношліфувальний двосторонній	7А420М	8	60	0,6	0,25	0,75	3	0,38	5
31	Верстат всерединішліфувальний	3К227Б	3	60	0,6	0,2	0,75	3	0,38	5
32	Верстат всерединішліфувальний	3К227Б	3	60	0,6	0,2	0,75	3	0,38	5
33	Верстат всерединішліфувальний	3К227Б	3	60	0,6	0,2	0,75	3	0,38	5
34	Верстат токарно-револьверний	1П371	15	60	0,55	0,18	0,75	3	0,38	5
35	Верстат токарно-револьверний	1П371	15	60	0,55	0,18	0,75	3	0,38	5

№ ЕП за планом	Найменування електроприймачів	Тип	Рп, кВт	ПВ пасп, %	сopf пасп	Кв	Кз	Кате гор.	Ун, В	Кп
36	Верстат поперечно-стругальний	7307ГТ	10	100	0,6	0,15	0,9	2	0,38	5
37	Молот кувальний пневматичний Q=500кг	АВ2-34-2	7	100	0,6	0,15	0,9	2	0,38	5
38	Молот ковальський	М-356К	7,5	60	0,65	0,2	0,75	2	0,38	5
39	Молот ковальський	М-522	4,7	60	0,65	0,2	0,75	2	0,38	5
40	Верстат токарно-револьверний	1П371	15	60	0,55	0,18	0,75	3	0,38	5
41	Верстат токарно-револьверний	1П371	15	60	0,55	0,18	0,75	3	0,38	5
42	Верстат поперечно-стругальний	7307ГТ	10	100	0,6	0,15	0,9	2	0,38	5
43	Молот кувальний пневматичний Q=500кг	АВ2-34-2	7	100	0,6	0,15	0,9	2	0,38	5
44	Молот ковальський	М-356К	7,5	60	0,65	0,2	0,75	2	0,38	5
45	Молот ковальський	М-522	4,7	60	0,65	0,2	0,75	2	0,38	5
46	Електрошліфувальна машина	ИЭ2103А	1,1	60	0,5	0,1	0,75	3	0,38	5
47	Верстат всерединішліфувальний	3К227Б	3	60	0,6	0,2	0,75	3	0,38	5
48	Верстат точно-шліфувальний двосторонній	7А420М	8	60	0,6	0,25	0,75	3	0,38	5
49	Верстат всерединішліфувальний	3К227Б	3	60	0,6	0,2	0,75	3	0,38	5
50	Верстат всерединішліфувальний	3К227Б	3	60	0,6	0,2	0,75	3	0,38	5
51	Електрошліфувальна машина	ИЭ2103А	1,1	60	0,5	0,1	0,75	3	0,38	5
52	Верстат всерединішліфувальний	3К227Б	3	60	0,6	0,2	0,75	3	0,38	5
53	Верстат токарний	КТ-65	10	60	0,65	0,2	0,75	3	0,38	5
54	Верстат токарний	КТ-65	10	60	0,65	0,2	0,75	3	0,38	5
55	Верстат токарний	КТ-65	10	60	0,65	0,2	0,75	3	0,38	5
56	Верстат токарний	КТ-65	10	60	0,65	0,2	0,75	3	0,38	5
57	Верстат токарний	КТ-65	10	60	0,65	0,2	0,75	3	0,38	5
58	Верстат токарний	КТ-65	10	60	0,65	0,2	0,75	3	0,38	5
59	Верстат токарний	16Д25	15	40	0,5	0,15	0,75	3	0,38	5
60	Верстат токарний	165	22	60	0,55	0,15	0,75	3	0,38	5
61	Верстат токарний	165	22	60	0,55	0,15	0,75	3	0,38	5
62	Верстат токарний	16Д25	15	40	0,5	0,15	0,75	3	0,38	5
63	Верстат довбальний	7Д430	10	60	0,6	0,1	0,75	3	0,38	5
64	Верстат точно-шліфувальний двосторонній	7А420М	8	60	0,6	0,25	0,75	3	0,38	5
65	Верстат всерединішліфувальний	3К227Б	3	60	0,6	0,2	0,75	3	0,38	5
66	Пневмошліфувальна машина	ИП-2204А	2,5	60	0,5	0,15	0,75	3	0,38	5
67	Домкрат електрифікований	4АМ132М4	1,5	40	0,55	0,15	0,75	2	0,38	5
68	Прес-ножиці	4А160М4	20	100	0,8	0,6	0,9	2	0,38	5
69	Вентилятор	4А132М6	7,5	100	0,7	0,6	0,9	2	0,38	5
70	Вентилятор	4А132М6	7,5	100	0,7	0,6	0,9	2	0,38	5
	Разом		814,8							

Характеристика електроприймачів: За виробничим призначенням: всі електроприймачі відносяться до двигунів силових загальнопромислових установок і виробничих механізмів. До цієї групи належать вентилятори, насоси, підйомно-транспортувальні пристрої, верстати загальнопромислового призначення.

Всі електроприймачі мають напругу живлення 380 В. За родом струму: все електроприймачі відносяться до споживачів, що працює від мережі

змінного струму промислової частоти 50 Гц. За стабільністю розташування: все електроприймачі мають стаціонарне розташування. Серед споживачів електроенергії всі споживачі, це споживачі другої і третьої категорії надійності електропостачання.

Проектований цех живиться від *головної знижувальної підстанції (ГПП)* 220/10 кВ, розташованої на відстані 650 м від цеху. Живлення здійснюється по кабельній лінії напругою 10 кВ.

Характеристика приміщення: Умови навколишнього середовища в цеху нормальні, наявність шкідливих речовин знаходяться в повітрі відповідає нормам ГДК. За пожежонебезпеки приміщення цеху відносяться до класу П-Па – не пожежонебезпечні. За вибухонебезпечності - не вибухонебезпечні. За ступенем доступності - загальнодоступне.

1.2. Розрахунок електричних навантажень цехової мережі

Напругу кожної ланки системи електропостачання слід вибирати з урахуванням напруги суміжних ланок для отримання найбільш економічного варіанта електропостачання підприємства в цілому. Перевагу при виборі варіантів слід віддавати варіанту з більш високою напругою навіть при невеликих економічних перевагах нижчого з порівнюваних напруг.

Для живлення великих і особливо великих підприємств слід застосовувати напруги 110, 220, 330, 500 кВ. На перших щаблях розподілу енергії на великих підприємствах слід застосовувати напругу 110 і 220 кВ.

Розглянемо наступні варіанти напруги живлення: 35кВ, 20кВ, 10кВ, 6кВ.

Напругу 35 кВ застосовують для живлення підприємств середньої потужності для повного або часткового внутрізаводського розподілу електроенергії при наявності:

- а) Великих електроприймачів на 35 кВ: потужних сталеплавильних печей, потужних ртутних випрямних установок;
- б) Віддалених навантажень і інших умов, що вимагають для живлення споживачів підвищеної напруги;

с) Схеми "глибокого введення" для живлення групи підстанцій 35/0,4 кВ малої і середньої потужності.

Перевага напруги 20кВ в порівнянні з напругою 35кВ полягає в більш простому пристрої мережі і дешевших комутаційно-захисних апаратах. Але з іншого боку, підвищення живлячої напруги зменшує втрати в живильних лініях.

У порівнянні з напругою 10 кВ при напрузі 20 кВ знижуються втрати електроенергії в елементах системи електропостачання і струми КЗ в мережах. Необхідно відзначити, що незважаючи на наявні переваги, застосування напруги 20 кВ обмежується відсутністю електроустаткування на цю напругу.

Напруга 10 кВ повинно широко застосовується для внутрізаводського розподілу енергії:

а) на великих підприємствах з потужними двигунами, що допускають безпосереднє приєднання до мережі 10 кВ;

б) На підприємствах невеликої та середньої потужності при відсутності або невеликому числі двигунів які могли б безпосередньо приєднані до напруги 6 кВ.

Напругу 6 кВ широко використовують на промислових підприємствах: на середніх по потужності підприємствах - для живлячих і розподільних мереж.

Напруга 10 кВ є більш економічним у порівнянні з напругою 6кВ. Напруга 6 кВ допускається застосовувати тільки в тих випадках, якщо на підприємстві переважають приймачі електроенергії з номінальною напругою 6кВ.

Оскільки розглянутий в даній дипломній роботі механічний цех не має приймачів електроенергії з номінальною напругою 6 кВ, то доцільно, вибираючи між 6 і 10 кВ, зупинити свій вибір на напрузі живлення 10 кВ.

1.3. Визначення центру електричних навантажень і вибір розташування цехової трансформаторної підстанції

Розрахунок першого рівня електропостачання

Активне розрахункове і реактивне навантаження, створювану одним приймачем електроенергії приймаємо рівною фактично споживаної потужності:

$$P_{.m1} = P_{\phi} = \kappa_3 \cdot P_{ном}; \quad (1.1)$$

$$Q_{.m1} = P_{.m1} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (1.2)$$

де κ_3 – коефіцієнт завантаження по активній потужності електроприймача.

При відсутності даних про реальне завантаження допускається приймати їх середні значення: для ЕП з тривалим режимом роботи 0,9, а для ЕП з повторно-короткочасним - 0,75.

При цьому номінальну активну потужність $P_{ном}$ окремих електроприймачів приймаємо рівною:

Для ЕД тривалого режиму - паспортної потужності на валу електродвигуна:

$$P_{ном} = P_{пасп}. \quad (1.3)$$

1. Для ЕД повторно-короткочасного режиму роботи паспортної потужності, наведеної до тривалого режиму:

$$P_{ном} = P_{пасп} \cdot \sqrt{TB}, \quad (1.4)$$

де TB - паспортна тривалість включення, відн. од.

2. Для зварювальних трансформаторів:

$$S_{ном} = S_{пасп} \cdot \sqrt{TB}; \quad (1.5)$$

$$P_{ном} = S_{пасп} \cdot \sqrt{TB} \cdot \cos \varphi. \quad (1.6)$$

Під номінальною реактивною потужністю електроприймача приймаємо реактивну потужність, споживану їм з мережі або що віддається в мережу при активній номінальній потужності і номінальній напрузі:

$$Q_{ном} = P_{ном} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (1.7)$$

де $\operatorname{tg} \varphi$ - відповідає $\cos \varphi_{пасп}$ - коефіцієнту потужності електроприймача.

Для електроприймача з ПКР - реактивну потужність наводимо до тривалого режиму по формулі:

$$Q_{ном} = P_{ном} \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \sqrt{TB_{пасп}}, \quad (1.8)$$

$$Q_{ном} = P_{пасп} \cdot \sqrt{TB_{пасп}}. \quad (1.9)$$

За розрахунковим навантаженням на 1 рівні вибираємо перетин дроту або кабелю, що живить електроприймачі.

Наведемо приклад розрахунку для вентилятора (№ 70) і для гідравлічного преса (№ 1) з тривалим і повторно-короткочасним режимом роботи відповідно.

Вентилятор (№ 70): $TB = 100 \%$; $P_{ном} = 30 \text{ кВт}$; $k_3 = 0,9$; $\cos\varphi = 0,7$.

$$P_{M1} = k_3 \cdot P_{ном} = 0,9 \cdot 30 = 27 \text{ кВт};$$

$$Q_{M1} = P_{M1} \cdot \operatorname{tg}\varphi = 27 \cdot \operatorname{tg}(\arccos(0,7)) = 27,546 \text{ кВАр};$$

$$S_{M1} = \sqrt{P_{M1}^2 + Q_{M1}^2} = \sqrt{27^2 + 27,546^2} = 38,571 \text{ кВА};$$

Гідравлічний прес (№ 1): $TB = 40 \%$; $\cos\varphi = 0,65$; $K_3 = 0,75$;

$$P_{ном} = 30 \cdot \sqrt{40} = 21,503 \text{ кВт};$$

$$P_{M1} = k_3 \cdot P_{ном} = 0,75 \cdot 21,503 = 16,128 \text{ кВт};$$

$$Q_{M1} = P_{M1} \cdot \operatorname{tg}\varphi = 16,128 \cdot \operatorname{tg}(\arccos(0,65)) = 18,855 \text{ кВАр};$$

$$S_{M1} = \sqrt{P_{M1}^2 + Q_{M1}^2} = \sqrt{16,128^2 + 18,855^2} = 24,812 \text{ кВА}.$$

Подальші результати розрахунків на 1 рівні зводимо в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати розрахунків ЕП токарного цеху

№ ЕП за генпланом	Найменування електроприймачів	$P_{ном}$, кВт	K_3	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	P_{M1} , кВт	Q_{M1} , кВАр	S_{M1} , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Прес гідравлічний	21,503	0,75	0,650	1,169	16,128	18,855	24,812
2	Прес гідравлічний	21,503	0,75	0,650	1,169	16,128	18,855	24,812
3	Прес гідравлічний	21,503	0,75	0,650	1,169	16,128	18,855	24,812
4	Прес гідравлічний	21,503	0,75	0,650	1,169	16,128	18,855	24,812
5	Кран-балка консольний Q=1,5т	6,000	0,75	0,500	1,732	4,500	7,794	9,000
6	Верстат вертикально-свердильний	15,260	0,75	0,600	1,333	11,445	15,260	19,074
7	Верстат вертикально-свердильний	15,260	0,75	0,600	1,333	11,445	15,260	19,074
8	Верстат вертикально-свердильний	15,260	0,75	0,600	1,333	11,445	15,260	19,074
9	Верстат радіально-свердильний	6,197	0,75	0,600	1,333	4,648	6,197	7,746
10	Верстат радіально-свердильний	9,487	0,75	0,600	1,333	7,115	9,487	11,859
11	Верстат радіально-свердильний	9,487	0,75	0,600	1,333	7,115	9,487	11,859
12	Верстат радіально-свердильний	9,487	0,75	0,600	1,333	7,115	9,487	11,859
13	Верстат токарно-револьверний	11,619	0,75	0,550	1,518	8,714	13,232	15,844
14	Верстат токарно-револьверний	11,619	0,75	0,550	1,518	8,714	13,232	15,844
15	Домкрат електрифікований	0,949	0,75	0,550	1,518	0,712	1,080	1,294
16	Машина шарнірна для різання листового металу	6,325	0,75	0,600	1,333	4,743	6,325	7,906
17	Пневмогайковёрт	3,873	0,75	0,650	1,169	2,905	3,396	4,469
18	Пневмошліфувальна машина	1,936	0,75	0,500	1,732	1,452	2,516	2,905
19	Верстат довбальний	7,746	0,75	0,600	1,333	5,809	7,746	9,682
20	Верстат довбальний	7,746	0,75	0,600	1,333	5,809	7,746	9,682
21	Верстат вертикально-фрезерний	7,746	0,75	0,600	1,333	5,809	7,746	9,682
22	Верстат вертикально-фрезерний	7,746	0,75	0,600	1,333	5,809	7,746	9,682
23	Верстат токарно-гвинторізний	11,619	0,75	0,550	1,518	8,714	13,232	15,844
24	Верстат токарно-гвинторізний	8,521	0,75	0,550	1,518	6,390	9,704	11,619
25	Довбальний верстат	7,746	0,75	0,600	1,333	5,809	7,746	9,682
26	Довбальний верстат	7,746	0,75	0,600	1,333	5,809	7,746	9,682
27	Верстат токарно-гвинторізний	8,521	0,75	0,550	1,518	6,390	9,704	11,619

№ ЕП за генпланом	Найменування електроприймачів	Рном, кВт	Кз	cosφ	tgφ	Pm1, кВт	Qm1, кВАр	Sm1, кВА
28	Верстат токарно-гвинторізний	8,521	0,75	0,550	1,518	6,390	9,704	11,619
29	Електрошліфувальна машина	0,852	0,75	0,500	1,732	0,639	1,107	1,278
30	Верстат точно-шліфувальний двосторонній	6,197	0,75	0,600	1,333	4,648	6,197	7,746
31	Верстат всерединішліфувальний	2,324	0,75	0,600	1,333	1,743	2,324	2,905
32	Верстат всерединішліфувальний	2,324	0,75	0,600	1,333	1,743	2,324	2,905
33	Верстат всерединішліфувальний	2,324	0,75	0,600	1,333	1,743	2,324	2,905
34	Верстат токарно-револьверний	11,619	0,75	0,550	1,518	8,714	13,232	15,844
35	Верстат токарно-револьверний	11,619	0,75	0,550	1,518	8,714	13,232	15,844
36	Верстат поперечно-стругальний	10,000	0,90	0,600	1,333	9,000	12,000	15,000
37	Молот кувальний пневматичний Q=500кг	7,000	0,90	0,600	1,333	6,300	8,400	10,500
38	Молот ковальський	5,809	0,75	0,650	1,169	4,357	5,094	6,703
39	Молот ковальський	3,641	0,75	0,650	1,169	2,730	3,192	4,201
40	Верстат токарно-револьверний	11,619	0,75	0,550	1,518	8,714	13,232	15,844
41	Верстат токарно-револьверний	11,619	0,75	0,550	1,518	8,714	13,232	15,844
42	Верстат поперечно-стругальний	10,000	0,90	0,600	1,333	9,000	12,000	15,000
43	Молот кувальний пневматичний Q=500кг	7,000	0,90	0,600	1,333	6,300	8,400	10,500
44	Молот ковальський	5,809	0,75	0,650	1,169	4,357	5,094	6,703
45	Молот ковальський	3,641	0,75	0,650	1,169	2,730	3,192	4,201
46	Електрошліфувальна машина	0,852	0,75	0,500	1,732	0,639	1,107	1,278
47	Верстат всерединішліфувальний	2,324	0,75	0,600	1,333	1,743	2,324	2,905
48	Верстат точно-шліфувальний двосторонній	6,197	0,75	0,600	1,333	4,648	6,197	7,746
49	Верстат всерединішліфувальний	2,324	0,75	0,600	1,333	1,743	2,324	2,905
50	Верстат всерединішліфувальний	2,324	0,75	0,600	1,333	1,743	2,324	2,905
51	Електрошліфувальна машина	0,852	0,75	0,500	1,732	0,639	1,107	1,278
52	Верстат всерединішліфувальний	2,324	0,75	0,600	1,333	1,743	2,324	2,905
53	Верстат токарний	7,746	0,75	0,650	1,169	5,809	6,792	8,938
54	Верстат токарний	7,746	0,75	0,650	1,169	5,809	6,792	8,938
55	Верстат токарний	7,746	0,75	0,650	1,169	5,809	6,792	8,938
56	Верстат токарний	7,746	0,75	0,650	1,169	5,809	6,792	8,938
57	Верстат токарний	7,746	0,75	0,650	1,169	5,809	6,792	8,938
58	Верстат токарний	7,746	0,75	0,650	1,169	5,809	6,792	8,938
59	Верстат токарний	9,487	0,75	0,500	1,732	7,115	12,324	14,230
60	Верстат токарний	17,041	0,75	0,550	1,518	12,781	19,407	23,238
61	Верстат токарний	17,041	0,75	0,550	1,518	12,781	19,407	23,238
62	Верстат токарний	9,487	0,75	0,500	1,732	7,115	12,324	14,230
63	Верстат довбальний	7,746	0,75	0,600	1,333	5,809	7,746	9,682
64	Верстат точно-шліфувальний двосторонній	6,197	0,75	0,600	1,333	4,648	6,197	7,746
65	Верстат всерединішліфувальний	2,324	0,75	0,600	1,333	1,743	2,324	2,905
66	Пневмошліфувальна машина	1,936	0,75	0,500	1,732	1,452	2,516	2,905
67	Домкрат електрифікований	0,949	0,75	0,550	1,518	0,712	1,080	1,294
68	Прес-ножиці	20,000	0,90	0,800	0,750	18,000	13,500	22,500
69	Вентилятор	30,000	0,90	0,700	1,020	27,000	27,546	38,571
70	Вентилятор	30,000	0,90	0,700	1,020	27,000	27,546	38,571
	Разом:	621,703						794,428

Для кожного приймача знайдемо максимальний і пусковий струм. А також відповідно до ПУЕ по максимальному розрахунковому току виберемо перетин провідника і марку кабелю від ЕП.

Наведемо приклад розрахунку для гідравлічного преса (№ 1):

Максимальний розрахунковий струм:

$$I_m = \frac{P_{m1}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi} = \frac{16,128}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65} = 37,698 \text{ А.}$$

Пусковий струм:

$$I_{II} = K_{II} \cdot I_m = 5 \cdot 37,698 = 188,488 \text{ А,}$$

де K_{II} - коефіцієнт пускового струму.

Згідно ПУЕ вибираємо чотирижильний кабель з алюмінієвими жилами з паперовою просоченою маслоканіфольної і нестікаючою масами ізоляцією в свинцевій або алюмінієвій оболонці, що прокладається в повітрі. Марка кабелю АВВГ-3х10 + 1х6 ($I_{ном} = 45 \text{ А}$).

Для інших приймачів розрахунок аналогічний. Результати розрахунку зведемо в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 – Результати розрахунку кабелю ЕП токарного цеху

№ ЕП за планом	Найменування електроприймачів	Р _{м1} , кВт	Q _{м1} , кВАр	I _м , А	I _п , А	I _{ном} , А	F, мм ²	Марка кабелю
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Прес гідравлічний	16,128	18,855	37,698	188,488	45	10	АВВГ
2	Прес гідравлічний	16,128	18,855	37,698	188,488	45	10	АВВГ
3	Прес гідравлічний	16,128	18,855	37,698	188,488	45	10	АВВГ
4	Прес гідравлічний	16,128	18,855	37,698	188,488	45	10	АВВГ
5	Кран-балка консольний Q=1,5 т	4,500	7,794	13,674	310,906	45	10	АВВГ
6	Верстат вертикально-свердильний	11,445	15,260	28,981	144,903	45	10	АВВГ
7	Верстат вертикально-свердильний	11,445	15,260	28,981	144,903	45	10	АВВГ
8	Верстат вертикально-свердильний	11,445	15,260	28,981	144,903	45	10	АВВГ
9	Верстат радіально-свердильний	4,648	6,197	11,769	58,844	45	10	АВВГ
10	Верстат радіально-свердильний	7,115	9,487	18,017	90,086	45	10	АВВГ
11	Верстат радіально-свердильний	7,115	9,487	18,017	90,086	45	10	АВВГ
12	Верстат радіально-свердильний	7,115	9,487	18,017	90,086	45	10	АВВГ
13	Верстат токарно-револьверний	8,714	13,232	24,073	120,363	45	10	АВВГ
14	Верстат токарно-револьверний	8,714	13,232	24,073	120,363	45	10	АВВГ
15	Домкрат електрифікований	0,712	1,080	1,966	9,828	45	10	АВВГ
16	Машина шарнірна для різання листового металу	4,743	6,325	12,011	60,057	45	10	АВВГ
17	Пневмогайковёрт	2,905	3,396	6,790	33,948	45	10	АВВГ
18	Пнеумошліфувальна машина	1,452	2,516	4,413	22,066	45	10	АВВГ
19	Верстат довбальний	5,809	7,746	14,711	73,555	45	10	АВВГ
20	Верстат довбальний	5,809	7,746	14,711	73,555	45	10	АВВГ
21	Верстат вертикально-фрезерний	5,809	7,746	14,711	73,555	45	10	АВВГ
22	Верстат вертикально-фрезерний	5,809	7,746	14,711	73,555	45	10	АВВГ
23	Верстат токарно-гвинторізний	8,714	13,232	24,073	120,363	45	10	АВВГ
24	Верстат токарно-гвинторізний	6,390	9,704	17,653	88,266	45	10	АВВГ
25	Довбальний верстат	5,809	7,746	14,711	73,555	45	10	АВВГ
26	Довбальний верстат	5,809	7,746	14,711	73,555	45	10	АВВГ
27	Верстат токарно-гвинторізний	6,390	9,704	17,653	88,266	45	10	АВВГ
28	Верстат токарно-гвинторізний	6,390	9,704	17,653	88,266	45	10	АВВГ

№ ЕП за планом	Найменування електроприймачів	Pm1, кВт	Qm1, кВАр	Im, А	Ip, А	Inom, А	F, мм ²	Марка кабелю
29	Електрошліфувальна машина	0,639	1,107	1,942	9,709	45	10	АВВГ
30	Верстат точно-шліфувальний двосторонній	4,648	6,197	11,769	58,844	45	10	АВВГ
31	Верстат всерединішліфувальний	1,743	2,324	4,413	22,066	45	10	АВВГ
32	Верстат всерединішліфувальний	1,743	2,324	4,413	22,066	45	10	АВВГ
33	Верстат всерединішліфувальний	1,743	2,324	4,413	22,066	45	10	АВВГ
34	Верстат токарно-револьверний	8,714	13,232	24,073	120,363	45	10	АВВГ
35	Верстат токарно-револьверний	8,714	13,232	24,073	120,363	45	10	АВВГ
36	Верстат поперечно-стругальний	9,000	12,000	22,790	113,951	45	10	АВВГ
37	Молот кувальний пневматичний Q=500кг	6,300	8,400	15,953	79,765	45	10	АВВГ
38	Молот ковальський	4,357	5,094	10,185	50,923	45	10	АВВГ
39	Молот ковальський	2,730	3,192	6,382	31,911	45	10	АВВГ
40	Верстат токарно-револьверний	8,714	13,232	24,073	120,363	45	10	АВВГ
41	Верстат токарно-револьверний	8,714	13,232	24,073	120,363	45	10	АВВГ
42	Верстат поперечно-стругальний	9,000	12,000	22,790	113,951	45	10	АВВГ
43	Молот кувальний пневматичний Q=500кг	6,300	8,400	15,953	79,765	45	10	АВВГ
44	Молот ковальський	4,357	5,094	10,185	50,923	45	10	АВВГ
45	Молот ковальський	2,730	3,192	6,382	31,911	45	10	АВВГ
46	Електрошліфувальна машина	0,639	1,107	1,942	9,709	45	10	АВВГ
47	Верстат всерединішліфувальний	1,743	2,324	4,413	22,066	45	10	АВВГ
48	Верстат точно-шліфувальний двосторонній	4,648	6,197	11,769	58,844	45	10	АВВГ
49	Верстат всерединішліфувальний	1,743	2,324	4,413	22,066	45	10	АВВГ
50	Верстат всерединішліфувальний	1,743	2,324	4,413	22,066	45	10	АВВГ
51	Електрошліфувальна машина	0,639	1,107	1,942	9,709	45	10	АВВГ
52	Верстат всерединішліфувальний	1,743	2,324	4,413	22,066	45	10	АВВГ
53	Верстат токарний	5,809	6,792	13,579	67,897	45	10	АВВГ
54	Верстат токарний	5,809	6,792	13,579	67,897	45	10	АВВГ
55	Верстат токарний	5,809	6,792	13,579	67,897	45	10	АВВГ
56	Верстат токарний	5,809	6,792	13,579	67,897	45	10	АВВГ
57	Верстат токарний	5,809	6,792	13,579	67,897	45	10	АВВГ
58	Верстат токарний	5,809	6,792	13,579	67,897	45	10	АВВГ
59	Верстат токарний	7,115	12,324	21,621	108,103	45	10	АВВГ
60	Верстат токарний	12,781	19,407	35,306	176,532	45	10	АВВГ
61	Верстат токарний	12,781	19,407	35,306	176,532	45	10	АВВГ
62	Верстат токарний	7,115	12,324	21,621	108,103	45	10	АВВГ
63	Верстат довбальний	5,809	7,746	14,711	73,555	45	10	АВВГ
64	Верстат точно-шліфувальний двосторонній	4,648	6,197	11,769	58,844	45	10	АВВГ
65	Верстат всерединішліфувальний	1,743	2,324	4,413	22,066	45	10	АВВГ
66	Пневмошліфувальна машина	1,452	2,516	4,413	22,066	45	10	АВВГ
67	Домкрат електрифікований	0,712	1,080	1,966	9,828	45	10	АВВГ
68	Прес-ножиці	18,000	13,500	34,185	170,926	45	10	АВВГ
69	Вентилятор	27,000	27,546	58,603	293,016	60	16	АВВГ
70	Вентилятор	27,000	27,546	58,603	293,016	60	16	АВВГ

Визначення центру електричних навантажень і вибір розташування ЦТП

З метою визначення місця розташування *цехової трансформаторної підстанції (ЦТП)* будуємо картограму електричних навантажень. Результати вимірювань зводимо в таблицю 1.4.

Таблиця 1.4

№ ЕП за планом	Найменування електроприймачів	Рм1, кВт	Qm1, кВАр	Координати	
				Х, м	У, м
1	2	3	4	5	6
1	Прес гідравлічний	16,128	18,855	3,84	14,7
2	Прес гідравлічний	16,128	18,855	10,45	15,2
3	Прес гідравлічний	16,128	18,855	8,35	13,2
4	Прес гідравлічний	16,128	18,855	1,7	13,2
5	Кран-балка консольний Q=1,5 т	4,500	7,794	6,8	11,85
6	Верстат вертикально-свердильний	11,445	15,260	3,35	7,96
7	Верстат вертикально-свердильний	11,445	15,260	3,21	4,03
8	Верстат вертикально-свердильний	11,445	15,260	7,32	4,03
9	Верстат радіально-свердильний	4,648	6,197	6,2	8,67
10	Верстат радіально-свердильний	7,115	9,487	9,2	8,23
11	Верстат радіально-свердильний	7,115	9,487	12,51	9,87
12	Верстат радіально-свердильний	7,115	9,487	12,4	6,4
13	Верстат токарно-револьверний	8,714	13,232	20,52	14,13
14	Верстат токарно-револьверний	8,714	13,232	20,52	11,07
15	Домкрат електрифікований	0,712	1,080	16,92	7,13
16	Машина шарнірна для різання листового металу	4,743	6,325	24,17	15,3
17	Пневмогайковёрт	2,905	3,396	23,76	11,07
18	Пневмошліфувальна машина	1,452	2,516	22,67	7,47
19	Верстат довбальний	5,809	7,746	28,48	8,47
20	Верстат довбальний	5,809	7,746	28,48	14,25
21	Верстат вертикально-фрезерний	5,809	7,746	31,46	13,35
22	Верстат вертикально-фрезерний	5,809	7,746	31,46	9,73
23	Верстат токарно-гвинторізний	8,714	13,232	34,92	14,67
24	Верстат токарно-гвинторізний	6,390	9,704	34,92	9,11
25	Довбальний верстат	5,809	7,746	39,92	15,05
26	Довбальний верстат	5,809	7,746	39,92	9,25
27	Верстат токарно-гвинторізний	6,390	9,704	43,72	13,32
28	Верстат токарно-гвинторізний	6,390	9,704	43,72	10,27
29	Електрошліфувальна машина	0,639	1,107	47,03	15,75
30	Верстат точно-шліфувальний двосторонній	4,648	6,197	49,4	15,42
31	Верстат всерединішліфувальний	1,743	2,324	50,35	11,62
32	Верстат всерединішліфувальний	1,743	2,324	50,35	9,57
33	Верстат всерединішліфувальний	1,743	2,324	50,35	7,65
34	Верстат токарно-револьверний	8,714	13,232	56,03	13,82
35	Верстат токарно-револьверний	8,714	13,232	59,02	13,82
36	Верстат поперечно-стругальний	9,000	12,000	55,18	10,97
37	Молот кувальний пневматичний Q=500кг	6,300	8,400	57,35	8,27
38	Молот ковальський	4,357	5,094	59,03	10,97
39	Молот ковальський	2,730	3,192	60,28	8,63
40	Верстат токарно-револьверний	8,714	13,232	66,08	13,98
41	Верстат токарно-револьверний	8,714	13,232	69,1	13,98
42	Верстат поперечно-стругальний	9,000	12,000	65,2	11,05
43	Молот кувальний пневматичний Q=500кг	6,300	8,400	66,05	8,35
44	Молот ковальський	4,357	5,094	69	11,05
45	Молот ковальський	2,730	3,192	70,32	8,77
46	Електрошліфувальна машина	0,639	1,107	65,06	5,13
47	Верстат всерединішліфувальний	1,743	2,324	66,72	5,13
48	Верстат точно-шліфувальний двосторонній	4,648	6,197	69,4	6,25
49	Верстат всерединішліфувальний	1,743	2,324	65,06	3,37
50	Верстат всерединішліфувальний	1,743	2,324	66,72	3,37
51	Електрошліфувальна машина	0,639	1,107	68,98	3,37

№ ЕП за планом	Найменування електроприймачів	Рм1, кВт	Qm1, кВАр	Координати	
				X, м	Y, м
52	Верстат всерединішліфувальний	1,743	2,324	70,36	3,37
53	Верстат токарний	5,809	6,792	19,18	4,98
54	Верстат токарний	5,809	6,792	22,31	4,98
55	Верстат токарний	5,809	6,792	25,38	4,98
56	Верстат токарний	5,809	6,792	28,46	4,98
57	Верстат токарний	5,809	6,792	31,48	4,98
58	Верстат токарний	5,809	6,792	34,7	4,98
59	Верстат токарний	7,115	12,324	37,7	4,98
60	Верстат токарний	12,781	19,407	40,73	4,98
61	Верстат токарний	12,781	19,407	43,71	4,98
62	Верстат токарний	7,115	12,324	50,33	1,93
63	Верстат довбальний	5,809	7,746	53,28	4,58
64	Верстат точношліфувальний двосторонній	4,648	6,197	55,96	4,58
65	Верстат всерединішліфувальний	1,743	2,324	56,58	2,4
66	Пневмошліфувальна машина	1,452	2,516	59,76	5,05
67	Домкрат електрикований	0,712	1,080	59,76	2,62
68	Прес-ножиці	18,000	13,500	11,16	3,62
69	Вентилятор	27,000	27,546	12,83	18,3
70	Вентилятор	27,000	27,546	52,96	18,3

На підставі побудованої картограми знаходимо координати умовного центру активних ($x_a; y_a$) і реактивних ($x_p; y_p$) електричних навантажень цеху за формулами:

$$x_a = \frac{\sum_{i=1}^n P_{p,i} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n P_{p,i}}; \quad (1.10) \quad x_p = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{p,i} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n Q_{p,i}}; \quad (1.11)$$

$$y_a = \frac{\sum_{i=1}^n P_{p,i} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n P_{p,i}}; \quad (1.12) \quad y_p = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{p,i} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n Q_{p,i}}; \quad (1.13)$$

Координати центру активної потужності:

$$x_a = 31,984, y_a = 10,410.$$

Координати центру реактивної потужності:

$$x_p = 33,159, y_p = 10,248;$$

Вигідніше буде розмістити ЦТП в центрі електричних навантажень будівель прилеглих до механічного цеху. З метою визначення місця розташування ЦТП будемо картограму електричних навантажень. Для цього задаємося початком координат і знаходимо координати центру механічного цеху, інструментального цеху, дільниці оксидровки, адміністративно-побутового корпусу.

Для групи однорідних по режиму роботи електроприймачів розрахункове (узагальнене) навантаження визначають з виразів:

$$P_{M3} = P_{НОМ} \cdot \kappa_C; \quad S_{M3} = \sqrt{P_{M3}^2 + Q_{M3}^2} = P_{M3} / \cos \varphi,$$

$$Q_{M3} = P_{M3} \cdot \operatorname{tg} \varphi;$$

де κ_C - коефіцієнт попиту даної групи електроприймачів, що приймається за довідковими матеріалами; $\operatorname{tg} \varphi$ - відповідає характерному для даної групи приймачів $\cos \varphi$, що визначається за довідкових матеріалів; $\cos \varphi_{\text{ср.взв}}$ - середньозважений коефіцієнт потужності.

Результати вимірювань зводимо в таблицю 1.5.

Таблиця 1.5

№ за ген. планом	Найменування електроприймачів	P _y , кВт	cosφ ср.зв	Кв ср.зв	Кс ср.зв	tgφ ср.зв	P _м , кВт	Q _м , кВАр	Координати	
									X, м	Y, м
1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12
4	Механічний цех	818,8	0,750	0,350	0,450	0,882	138,53	165,80	12,5	102
8	Інструментальний цех	700	0,750	0,350	0,450	0,882	315	277,804	75,5	69
9	Ділянка оксидровкі	200	0,700	0,350	0,450	1,020	90	91,818	87	50
10	Адміністративно-побутовий корпус	110	0,900	0,800	0,850	0,484	93,5	45,284	19	57,5
			X, м		Y, м					
Центр активного навантаження			55,132		71,804					
Центр реактивного навантаження			54,925		74,521					

1.4. Проектування схем внутрішньоцехового електропостачання

Намічаємо 2 варіанти схем внутрішньоцехового електропостачання.

Один варіант розглянемо з використанням шести силових пунктів, з'єднаних радіально, інший - з використанням трьох силових пунктів, з'єднаних радіально і трьох силових пунктів, підключених до них шлейфами.

При проектуванні будемо приймати варіанти щоб забезпечити раціональне використання осередків розподільних пристроїв, мінімальну довжину розподільної мережі, надійність системи електропостачання, мінімальні економічні витрати.

Розрахунок другого рівня електропостачання

Розрахункове навантаження на 2 рівні, що створюється групою електроприймачів, визначаємо за методом впорядкованих діаграм, тобто по середньої потужності і коефіцієнту максимуму.

Для цього, знаючи розміщення електроприймачів на генплані, розрахункові навантаження на 1 рівні, місце розташування цехової трансформаторної підстанції, намічаємо 2 варіанти схем внутрішньоцехового електропостачання. І таким чином визначаємо вузли 2-го рівня електропостачання, для яких буде визначатися розрахункове навантаження (збірки, шафи, силові пункти, шинопроводи).

Всі робочі електроприймачі в межах розрахункового вузла розбиваємо на характерні групи з однаковим коефіцієнтом використання K_g і потужності $\cos\phi$.

Розрахункова активне навантаження групи приймачів зі змінним графіком навантаження визначаємо з виразу:

$$P_M = K_M \cdot P_{zM} = K_M \cdot K_g \cdot P_n, \quad (1.14)$$

де P_{zM} – середня потужність робочих електроприймачів за найбільш завантажену зміну, кВт; P_n – сумарна номінальна активна потужність робочих електроприймачів, кВт; K_g – груповий коефіцієнт використання активної потужності; K_M – коефіцієнт максимуму активної потужності.

Коефіцієнт максимуму активної потужності K_M визначаємо по кривих, в залежності від коефіцієнта використання K_g та ефективного числа групи електроприймачів n_e .

Способи спрощеного визначення n_e :

1. При числі фактичних електроприймачів в групі 4 і більше допускається не вважати рівним n при величині відношення:

$$m = \frac{P_{n.\max}}{P_{n.\min}} \leq 3, \quad (1.15)$$

де $P_{n.\max}$ і $P_{n.\min}$ – активні номінальні потужності найбільшого і найменшого електроприймачів в групі.

2. При $m > 3$ і $K_g \geq 0,2$ ефективне число електроприймачів може бути визначено за формулою:

$$n_e = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{\text{ном}i}}{P_{n.\max}}, \quad (1.16)$$

де $\sum_{i=1}^n P_{номі}$ - сумарна номінальна потужність всіх електроприймачів даної групи, кВт; $P_{н.макс}$ - найбільший за потужністю електроприймач даної групи, кВт.

Якщо знайдене по цій формулі n_e виявляється більшим, ніж фактичне число електроприймачів, слід приймати $n_e = n$.

3. При $m > 3$ і $K_g < 0,2$ ефективне число електроприймачів визначається за допомогою кривих або таблиць.

Порядок визначення ефективного числа електроприймачів n , за допомогою кривих наступний:

- вибираємо найбільший по номінальній потужності електроприймач даної групи;

- вибираємо найбільш великі електроприймачі, номінальна потужність яких дорівнює або більше половини потужності найбільшого електроприймача групи;

- визначаємо число n_1 і сумарна номінальна потужність $P_{н1}$ найбільших електроприймачів групи;

- визначаємо число n і сумарна номінальна потужність P_n всіх електроприймачів групи;

- знаходимо значення $n^* = \frac{n_1}{n}$ и $P^* = \frac{P_{н1}}{P_n}$;

- за отриманими значеннями n^* і P^* по кривим визначаємо величину n_{e^*} ;

Як приклад розберемо силовий пункт №1, для першого варіанту. Розглянемо одну з груп ЕП з однаковим коефіцієнтом використання $K_g = 0,18$ і потужності $\cos\varphi = 0,65$. Наприклад, групу верстатів (№ 1,2,3,4).

Кількість ЕП: 4;

$P_{ном}$ одного електроприймача (найменшого - найбільшого),кВт: 21,503;

$P_{ном}$ загальна: 86,016 кВт;

$$m = \frac{21,503}{21,503} = 1 < 3.$$

Коефіцієнт використання, K_g : 0,18; $\cos\varphi$: 0,65; $tg\varphi$: 1,17;

$$P_{з\text{м}1} = K_e \cdot P_{\text{ном.заг}} = 0,18 \cdot 86,016 = 15,48 \text{ кВт};$$

$$Q_{з\text{м}1} = P_{\text{СП}} \cdot \text{tg}\varphi = 15,48 \cdot 1,17 = 18,11 \text{ кВАр}.$$

Розрахунок силового пункту (шинопроводу) в цілому розрахунок проводиться також, але для K_e , $\cos\varphi$, $\text{tg}\varphi$ беруться середньозважені значення. Крім того для силового пункту (шинопровода) розраховуються ефективне число ЕП n_e , коефіцієнт максимуму K_m , розрахункове навантаження і максимальний розрахунковий струм.

$$P_{з\text{м СП}2} = P_{з\text{м}1} + P_{з\text{м}2} + P_{з\text{м}3} = 41,048 \text{ кВт},$$

$$Q_{з\text{м СП}2} = Q_{з\text{м}1} + Q_{з\text{м}2} + Q_{з\text{м}3} = 47,77 \text{ кВАр}.$$

Ефективне число ЕП:

$$n_e = \frac{2 \cdot P_{\text{ном.заг}}}{P_{\text{ном.макс}}} = \frac{2 \cdot 86,016}{21,503} = 7,9.$$

$7,9 > 7$, приймаємо $n_e = 7$.

Коефіцієнт максимуму визначаємо по кривих з графіку: $K_m = 2,1$;

Максимальне розрахункове навантаження:

$$P_m = K_m \cdot P_{з\text{м}} = 2,1 \cdot 41,048 = 86,2 \text{ кВт};$$

$$Q_m = (1,0 - 1,1) \cdot Q_{з\text{м}} = 1,05 \cdot 47,77 = 52,55 \text{ кВт};$$

$$S_m = \sqrt{P_m^2 + Q_m^2} = \sqrt{86,2^2 + 52,55^2} = 100,95 \text{ кВА}.$$

Максимальний розрахунковий струм:

$$I_m = \frac{S_m}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{100,95}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 153,39 \text{ А}.$$

Для інших ЕП розрахунок проводиться аналогічно. Результати розрахунків зводимо в таблицю 1.6 и 1.7.

Таблиця 1.6 – Розрахунок електричних навантажень мережі трифазного струму до 1000 В (варіант 1)

№	Найменування вузлів живлення і груп ЕП	Кількість ЕП, роб/рез	Встановлена потужність, приведена до ПВ=100%, кВт		m	Коеф. викор. Квв	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за макс. завант. зміну		Ефективне число ЕП, пє	Коеф. максимуму Км	Максимальне розрахункове навантаження			Ім, А
			Рном одного ЕП (наім.–наіб.)	Рном. загал					Рзм, кВт	Qзм, кВАр			Рм, кВт	Qм,к ВАр	Sm, кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
I	СП-1															
	Шлейф(1,4)	2	21,503	43,006	1	0,18	0,65	1,169	7,741	9,050	2	3,00	23,22	9,96	25,27	38,39
	Прес(4)	1	21,503	21,503	1	0,18	0,65	1,169	3,871	4,525						
	Шлейф(6,7)	2	15,260	30,520	1	0,15	0,6	1,333	4,578	6,104	2	3,50	16,02	6,71	17,37	26,40
	Свердильний верстат (7)	1	15,260	15,260	1	0,15	0,6	1,333	2,289	3,052						
	Шлейф(8,68)	2	20,000÷15,260	35,260	1,31	0,41	0,71	0,982	14,289	14,034	2	2,00	28,58	15,44	32,48	49,35
	Свердильний верстат (8)	1	15,260	15,260	1	0,15	0,6	1,333	2,289	3,052						
	Кран (5)	1	6,000	6,000	1	0,25	0,5	1,732	1,500	2,598						
	Шлейф(9,10)	2	6,197÷9,487	15,684	1,53	0,15	0,6	1,333	2,353	3,137	2	3,50	8,23	3,45	8,93	13,56
	Свердильний верстат (9)	1	6,197	6,197	1	0,15	0,6	1,333	0,930	1,239						
	Шлейф(2,3)	2	21,503	43,006	1	0,18	0,65	1,169	7,741	9,050	2	3,00	23,22	9,96	25,27	38,39
	Прес(2)	1	21,503	21,503	1	0,18	0,65	1,169	3,871	4,525						
	Шлейф(11,12)	2	9,487	18,974	1	0,15	0,6	1,333	2,846	3,795	2	3,50	9,96	4,17	10,80	16,41
	Свердильний верстат (8)	1	9,487	9,487	1	0,15	0,6	1,333	1,423	1,897						
	<i>Разом з СП-1</i>	13	6,0÷21,503	192,450	>3	0,21	0,65	1,164	41,048	47,769	7	2,10	86,20	52,55	100,95	153,39
II	СП-2															
	Вентилятор (69)	1	30,000	30,000	1	0,60	0,7	1,020	18,000	18,364						
	Шлейф (13,14)	2	11,619	23,238	1	0,18	0,55	1,518	4,183	6,352	2	3,00	12,55	6,99	14,36	21,82
	Верстат токарно-револьверний (14)	1	11,619	11,619	1	0,18	0,55	1,518	2,091	3,176						
	Шлейф (15,18)	2	0,949÷1,936	2,885	2,04	0,15	0,53	1,600	0,433	0,692	2	3,50	1,51	0,76	1,70	2,58
	Домкрат(15)	1	0,949	0,949	1	0,15	0,55	1,518	0,142	0,216						
	Шлейф (16,17)	2	3,873÷6,325	10,198	1,63	0,19	0,62	1,269	1,913	2,427	2	3,00	5,74	2,67	6,33	9,62
	Пневмогайковёрт (17)	1	3,873	3,873	1	0,20	0,65	1,169	0,775	0,906						
	Шлейф (53,54,55)	3	7,746	23,238	1	0,20	0,65	1,169	4,648	5,434	3	2,90	13,48	5,98	14,74	22,40
	Шлейф (53,54)	2	7,746	15,492	1	0,20	0,65	1,169	3,098	3,622	2	3,00	9,30	3,98	10,11	15,37
	Верстат токарний (53)	1	7,746	7,746	1	0,20	0,65	1,169	1,549	1,811						
	<i>Разом з СП-2</i>	10	0,949÷30,000	89,559	>3	0,33	0,66	1,140	29,176	33,269	5	1,80	52,52	36,60	64,01	97,26
III	СП-3															
	Шлейф (56,57,58)	3	7,746	23,238	1	0,20	0,65	1,169	4,648	5,434	3	2,90	13,48	5,98	14,74	22,40

№	Найменування вузлів живлення і груп ЕП	Кіл-ть ЕП, роб/рез	Встановлена потужність, приведена до ПВ=100%, кВт		m	Коеф. викор. Кв	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за макс. завант. зміну		Ефективне число ЕП, пс	Коеф. максимуму Км	Максимальне розрахункове навантаження			Ім,А
			Рном одного ЕП (наім.—наіб.)	Рном. загал					Рзм, кВт	Qзм, кВАр			Рм, кВт	Qм,к ВАр	Sm, кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Шлейф (57,58)	2	7,746	15,492	1	0,20	0,65	1,169	3,098	3,622	2	3,00	9,30	3,98	10,11	15,37
	Верстат довбальний (58)	1	7,746	7,746	1	0,20	0,65	1,169	1,549	1,811						
	Шлейф(19,20)	2	7,746	15,492	1	0,10	0,6	1,333	1,549	2,066	2	3,90	6,04	2,27	6,46	9,81
	Верстат довбальний (20)	1	7,746	7,746	1	0,10	0,6	1,333	0,775	1,033						
	Шлейф (21,22)	2	7,746	15,492	1	0,15	0,6	1,333	2,324	3,098	2	3,50	8,13	3,41	8,82	13,40
	Верстат вертикально-фрезерний (21)	1	7,746	7,746	1	0,15	0,6	1,333	1,162	1,549						
	Шлейф (23,24)	2	8,521÷11,619	20,140	1,36	0,20	0,55	1,519	4,028	6,117	2	3,00	12,08	6,73	13,83	21,01
	Верстат токарний (24)	1	8,521	8,521	1	0,20	0,64	1,201	1,704	2,046						
	Верстат токарний (59)	1	9,487	9,487	1	0,15	0,5	1,732	1,423	2,465						
	<u>Разом з СП-3</u>	10	7,746÷11,619	83,849	>3	0,17	0,59	1,373	13,972	19,179	5	2,70	37,72	21,10	43,22	65,67
IV	СП-4															
	Шлейф(25,26)	2	7,746	15,492	1	0,10	0,6	1,333	1,549	2,066	2	3,90	6,04	2,27	6,46	9,81
	Довбальний верстат (26)	1	7,746	7,746	1	0,10	0,6	1,333	0,775	1,033						
	Шлейф(60,61)	2	17,041	34,082	1	0,15	0,55	1,518	5,112	7,763	2	3,50	17,89	8,54	19,83	30,12
	Токарний верстат (61)	1	17,041	17,041	1	0,15	0,55	1,518	2,556	3,881						
	Шлейф(27,28)	2	8,527	17,054	1	0,20	0,55	1,518	3,411	5,179	2	3,00	10,23	5,70	11,71	17,79
	Верстат токарно-гвинторізний (28)	1	8,527	8,527	1	0,20	0,55	1,518	1,705	2,590						
	Верстат токарний (62)	1	9,487	9,487	1	0,15	0,5	1,732	1,423	2,465						
	Шлейф (31,32,33)	3	2,324	6,972	1	0,20	0,6	1,333	1,394	1,859	3	2,90	4,04	2,05	4,53	6,89
	Шлейф (32,33)	2	2,324	4,648	1	0,20	0,6	1,333	0,930	1,239	2	3,00	2,79	1,36	3,10	4,72
	Верстат всерединшліфувальний (33)	1	2,324	2,324	1	0,20	0,6	1,333	0,465	0,620						
	Шлейф (29,30)	2	0,852÷6,197	7,049	>3	0,20	0,55	1,518	1,410	2,141	2	3,00	4,23	2,35	4,84	7,36
	Електрошліфувальна машина (29)	1	0,852	0,852	1	0,10	0,5	1,732	0,085	0,148						
	<u>Разом з СП-4</u>	12	0,852÷17,041	90,136	>3	0,16	0,55	1,502	14,300	21,473	6	2,70	38,61	23,62	45,26	68,77
V	СП-5															
	Вентилятор (70)	1	30,000	30,000	1	0,60	0,8	0,750	18,000	13,500						
	Шлейф(36,63)	2	7,746÷10,000	17,743	1,29	0,13	0,6	1,333	2,275	3,032	2	3,50	7,96	3,34	8,63	13,11
	Верстат довбальний (63)	1	7,746	7,746	1	0,10	0,6	1,333	0,775	1,033						
	Шлейф (64,65)	2	2,324÷6,197	8,521	2,67	0,20	0,6	1,333	1,704	2,272	2	3,00	5,11	2,50	5,69	8,65

№	Найменування вузлів живлення і груп ЕП	Кіл-ть ЕП, роб/рез	Встановлена потужність, приведена до ПВ=100%, кВт		m	Коеф. викор. Кв	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за макс. завант. зміну		Ефективне число ЕП, пє	Коеф. максимуму Км	Максимальне розрахункове навантаження			Ім, А
			Рном одного ЕП (наім.—наіб.)	Рном. загал					Рзм, кВт	Qзм, кВАр			Рм, кВт	Qм,к ВАр	Sm, кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Верстат всерединішліфувальний (65)	1	2,324	2,324	1	0,20	0,6	1,333	0,465	0,620						
	Шлейф(37,66,67)	3	0,949÷7,000	9,885	>3	0,15	0,58	1,421	1,483	2,106	3	3,10	4,60	2,32	5,15	7,82
	Шлейф(66,67)	2	0,949÷1,936	2,885	2,04	0,15	0,52	1,658	0,433	0,717	2	3,50	1,51	0,79	1,71	2,59
	Домкрат(67)	1	0,949	0,949	1	0,15	0,55	1,518	0,142	0,216						
	Шлейф(38,39)	2	3,641÷5,809	9,450	1,6	0,20	0,65	1,169	1,890	2,210	2	3,00	5,67	2,43	6,17	9,37
	Молот ковальський (39)	1	3,641	3,641	1	0,20	0,65	1,169	0,728	0,851						
	Шлейф(34,35)	2	11,619	23,238	1	0,18	0,55	1,518	4,183	6,352	2	3,00	12,55	6,99	14,36	21,82
	Верстат токарно-револьверний (35)	1	11,619	11,619	1	0,18	0,55	1,518	2,091	3,176						
	<u>Разом з СП-5</u>	12	0,949÷30,000	98,837	>3	0,30	0,71	0,998	29,534	29,472	6	1,8	53,16	32,42	62,27	94,61
VI	СП-6															
	Шлейф(40,41)	2	11,619	23,238	1	0,18	0,55	1,518	4,183	6,352	2	3,00	12,55	6,99	14,36	21,82
	Верстат токарно-револьверний (40)	1	11,619	11,619	1	0,18	0,55	1,518	2,091	3,176						
	Шлейф(44,45)	2	3,641÷5,809	9,450	1,6	0,20	0,65	1,169	1,890	2,210	2	3,00	5,67	2,43	6,17	9,37
	Молот ковальський (45)	1	3,641	3,641	1	0,20	0,65	1,169	0,728	0,851						
	Шлейф(42,43)	2	7,000÷10,000	17,000	1,43	0,15	0,6	1,333	2,550	3,400	2	3,50	8,93	3,74	9,68	14,70
	Молот ковальський (43)	1	7,000	7,000	1	0,15	0,6	1,333	1,050	1,400						
	Шлейф(46,47)	2	0,825÷2,324	3,149	2,82	0,15	0,55	1,518	0,472	0,717	2	3,50	1,65	0,79	1,83	2,78
	Електрошліфувальна машина (46)	1	0,852	0,852	1	0,10	0,5	1,732	0,085	0,148						
	Верстат точношліфувальний двосторонній (48)	1	6,197	6,197	1	0,25	0,6	1,333	1,549	2,066						
	Шлейф(49,50)	2	2,324	4,648	1	0,20	0,6	1,333	0,930	1,239	2	3,00	2,79	1,36	3,10	4,72
	Верстат всерединішліфувальний (49)	1	2,324	2,324	1	0,20	0,6	1,333	0,465	0,620						
	Шлейф(51,52)	2	0,825÷2,324	3,149	2,82	0,15	0,55	1,518	0,472	0,717	2	3,50	1,65	0,79	1,83	2,78
	Електрошліфувальна машина (51)	1	0,852	0,852	1	0,10	0,5	1,732	0,085	0,148						
	<u>Разом з СП-6</u>	13	0,852÷11,619	60,634	>3	0,17	0,58	1,394	10,497	14,635	7	2,7	28,34	16,10	32,60	49,52
	Разом	70,00	60,631÷192,450	615,47	>3	0,23	0,64	1,197	138,53	165,80	6	2,2	304,76	182,375	355,16	539,626

Таблиця 1.7 – Розрахунок електричних навантажень мережі трифазного струму до 1000 В (варіант 2)

№	Найменування вузлів живлення і груп ЕП	Кількість ЕП, роб/рез	Встановлена потужність, приведена до ПВ=100%, кВт		Кількість ЕП, роб/рез	Коеф. викор., Кв	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за макс. завант. зміну		Ефективне число ЕП, п	Коеф. максимум а. Км	Максимальне розрахункове навантаження			Iм, А
			Рном одного ЕП (наім.-наіб.)	Рном. загал					Рзм, кВт	Qзм, кВАр			Рм, кВт	Qм, кВАр	Sm, кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
I	СП-1															
	Шлейф(1,4)	2	21,503	43,006	1	0,18	0,65	1,169	7,741	9,050	2	3,00	23,22	9,96	25,27	38,39
	Прес(4)	1	21,503	21,503	1	0,18	0,65	1,169	3,871	4,525						
	Шлейф(6,7)	2	15,260	30,520	1	0,15	0,6	1,333	4,578	6,104	2	3,50	16,02	6,71	17,37	26,40
	Свердильний верстат (7)	1	15,260	15,260	1	0,15	0,6	1,333	2,289	3,052						
	Шлейф(8,68)	2	20,000÷15,260	35,260	1,31	0,41	0,71	0,982	14,289	14,034	2	2,00	28,58	15,44	32,48	49,35
	Свердильний верстат (8)	1	15,260	15,260	1	0,15	0,6	1,333	2,289	3,052						
	Кран (5)	1	6,000	6,000	1	0,25	0,5	1,732	1,500	2,598						
	Шлейф(9,10)	2	6,197÷9,487	15,684	1,53	0,15	0,6	1,333	2,353	3,137	2	3,50	8,23	3,45	8,93	13,56
	Свердильний верстат (9)	1	6,197	6,197	1	0,15	0,6	1,333	0,930	1,239						
	Шлейф(2,3)	2	21,503	43,006	1	0,18	0,65	1,169	7,741	9,050	2	3,00	23,22	9,96	25,27	38,39
	Прес(2)	1	21,503	21,503	1	0,18	0,65	1,169	3,871	4,525						
	Шлейф(11,12)	2	9,487	18,974	1	0,15	0,6	1,333	2,846	3,795	2	3,50	9,96	4,17	10,80	16,41
	Свердильний верстат (8)	1	9,487	9,487	1	0,15	0,6	1,333	1,423	1,897						
	<i>Разом з СП -1</i>	13	6,0÷21,503	192,450	>3	0,21	0,65	1,164	41,048	47,769	7	2,10	86,20	52,55	100,95	153,39
II	СП-2															
	Шлейф (56,57,58)	3	7,746	23,238	1	0,20	0,65	1,169	4,648	5,434	3	2,90	13,48	5,98	14,74	22,40
	Шлейф (57,58)	2	7,746	15,492	1	0,20	0,65	1,169	3,098	3,622	2	3,00	9,30	3,98	10,11	15,37
	Верстат токарний (58)	1	7,746	7,746	1	0,20	0,65	1,169	1,549	1,811						
	Шлейф(19,20)	2	7,746	15,492	1	0,10	0,6	1,333	1,549	2,066	2	3,90	6,04	2,27	6,46	9,81
	Верстат довбальний (20)	1	7,746	7,746	1	0,10	0,6	1,333	0,775	1,033						
	Шлейф (21,22)	2	7,746	15,492	1	0,15	0,6	1,333	2,324	3,098	2	3,50	8,13	3,41	8,82	13,40
	Верстат вертикально-фрезерний (21)	1	7,746	7,746	1	0,15	0,6	1,333	1,162	1,549						
	Шлейф (23,24)	2	8,521÷11,619	20,140	1,36	0,20	0,55	1,519	4,028	6,117	2	3,00	12,08	6,73	13,83	21,01
	Верстат токарно-гвинторізний (24)	1	8,521	8,521	1	0,20	0,64	1,201	1,704	2,046						
	Верстат токарний (59)	1	9,487	9,487	1	0,15	0,5	1,732	1,423	2,465						
	<i>Разом з СП -2</i>	10	7,746÷11,619	83,849	>3	0,17	0,59	1,373	13,972	19,179	5	2,70	37,72	21,10	43,22	65,67
III	СП-3															
	Вентилятор (69)	1	30,000	30,000	1	0,60	0,7	1,020	18,000	18,364						

№	Найменування вузлів живлення і груп ЕП	Кількість ЕП, роб/рез	Встановлена потужність, приведена до ПВ=100%, кВт		Кількість ЕП, роб/рез	Коеф. викор., Кв	cosφ	t _{гр}	Середнє навантаження за макс. завант. зміну		Ефективне число ЕП, п	Коеф. максимум а. Км	Максимальне розрахункове навантаження			I _{м,А}
			Рном одного ЕП (наім.—наіб.)	Рном. загал					Рзм, кВт	Qзм, кВАр			Рм, кВт	Qм, кВАр	Sм, кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Шлейф (13,14)	2	11,619	23,238	1	0,18	0,55	1,518	4,183	6,352	2	3,00	12,55	6,99	14,36	21,82
	Верстат токарно-револьверний (14)	1	11,619	11,619	1	0,18	0,55	1,518	2,091	3,176						
	Шлейф (15,18)	2	0,949÷1,936	2,885	2,04	0,15	0,53	1,600	0,433	0,692	2	3,50	1,51	0,76	1,70	2,58
	Домкрат(15)	1	0,949	0,949	1	0,15	0,55	1,518	0,142	0,216						
	Шлейф (16,17)	2	3,873÷6,325	10,198	1,63	0,19	0,62	1,269	1,913	2,427	2	3,00	5,74	2,67	6,33	9,62
	Пневмогайковёрт (17)	1	3,873	3,873	1	0,20	0,65	1,169	0,775	0,906						
	Шлейф (53,54,55)	3	7,746	23,238	1	0,20	0,65	1,169	4,648	5,434	3	2,90	13,48	5,98	14,74	22,40
	Шлейф (53,54)	2	7,746	15,492	1	0,20	0,65	1,169	3,098	3,622	2	3,00	9,30	3,98	10,11	15,37
	Верстат токарний (53)	1	7,746	7,746	1	0,20	0,65	1,169	1,549	1,811						
	СП-2	10	7,746÷11,619	83,849	>3	0,17	0,59	1,373	4,558	6,109						
	<i>Разом з СП-3</i>	20	0,949÷83,849	173,408	>3	0,19	0,65	1,167	33,734	39,378	4	2,20	74,21	43,32	85,93	130,56
IV	СП-4															
	Шлейф(25,26)	2	7,746	15,492	1	0,10	0,6	1,333	1,549	2,066	2	3,90	6,04	2,27	6,46	9,81
	Довбальний верстат (26)	1	7,746	7,746	1	0,10	0,6	1,333	0,775	1,033						
	Шлейф(60,61)	2	17,041	34,082	1	0,15	0,55	1,518	5,112	7,763	2	3,50	17,89	8,54	19,83	30,12
	Верстат токарний (61)	1	17,041	17,041	1	0,15	0,55	1,518	2,556	3,881						
	Шлейф(27,28)	2	8,527	17,054	1	0,20	0,55	1,518	3,411	5,179	2	3,00	10,23	5,70	11,71	17,79
	Верстат токарно-гвинторізний (28)	1	8,527	8,527	1	0,20	0,55	1,518	1,705	2,590						
	Верстат токарний (62)	1	9,487	9,487	1	0,15	0,5	1,732	1,423	2,465						
	Шлейф (31,32,33)	3	2,324	6,972	1	0,20	0,6	1,333	1,394	1,859	3	2,90	4,04	2,05	4,53	6,89
	Шлейф (32,33)	2	2,324	4,648	1	0,20	0,6	1,333	0,930	1,239	2	3,00	2,79	1,36	3,10	4,72
	Верстат всерединішліфувальний (33)	1	2,324	2,324	1	0,20	0,6	1,333	0,465	0,620						
	Шлейф (29,30)	2	0,852÷6,197	7,049	>3	0,20	0,55	1,518	1,410	2,141	2	3,00	4,23	2,35	4,84	7,36
	Електрошліфувальна машина (29)	1	0,852	0,852	1	0,10	0,5	1,732	0,085	0,148						
	<i>Разом з СП-4</i>	12	0,852÷17,041	90,136	>3	0,16	0,55	1,502	14,300	21,473	6	2,70	38,61	23,62	45,26	68,77
V	СП-5															
	Вентилятор (70)	1	30,000	30,000	1	0,60	0,8	0,750	18,000	13,500						
	Шлейф(36,63)	2	7,746÷10,000	17,743	1,29	0,13	0,6	1,333	2,275	3,032	2	3,50	7,96	3,34	8,63	13,11
	Верстат довбальний (63)	1	7,746	7,746	1	0,10	0,6	1,333	0,775	1,033						

№	Найменування вузлів живлення і груп ЕП	Кількість ЕП, роб/рез	Встановлена потужність, приведена до ПВ=100%, кВт		Кількість ЕП, роб/рез	Коеф. викор., Кв	cosφ	tгр	Середнє навантаження за макс. завант. зміну		Ефективне число ЕП, п	Коеф. максимум а. Км	Максимальне розрахункове навантаження			Iм, А
			Рном одного ЕП (наім.—наіб.)	Рном. загал					Рзм, кВт	Qзм, кВАр			Рм, кВт	Qм, кВАр	Sm, кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Шлейф (64,65)	2	2,324÷6,197	8,521	2,67	0,20	0,6	1,333	1,704	2,272	2	3,00	5,11	2,50	5,69	8,65
	Верстат всерединішліфувальний (65)	1	2,324	2,324	1	0,20	0,6	1,333	0,465	0,620						
	Шлейф(37,66,67)	3	0,949÷7,000	9,885	>3	0,15	0,58	1,421	1,483	2,106	3	3,10	4,60	2,32	5,15	7,82
	Шлейф(66,67)	2	0,949÷1,936	2,885	2,04	0,15	0,52	1,658	0,433	0,717	2	3,50	1,51	0,79	1,71	2,59
	Домкрат(67)	1	0,949	0,949	1	0,15	0,55	1,518	0,142	0,216						
	Шлейф(38,39)	2	3,641÷5,809	9,450	1,6	0,20	0,65	1,169	1,890	2,210	2	3,00	5,67	2,43	6,17	9,37
	Молот ковальський (39)	1	3,641	3,641	1	0,20	0,65	1,169	0,728	0,851						
	Шлейф(34,35)	2	11,619	23,238	1	0,18	0,55	1,518	4,183	6,352	2	3,00	12,55	6,99	14,36	21,82
	Верстат токарно-револьверний (35)	1	11,619	11,619	1	0,18	0,55	1,518	2,091	3,176						
	СП-4	9	0,852÷17,041	90,136	>3	0,16	0,55	1,502	14,300	21,473						
	СП-6	10	0,852÷11,619	60,634	>3	0,17	0,58	1,397	10,479	14,635						
	<i>Разом з СП -5</i>	31	0,949÷52,358	249,607	>3	0,22	0,64	1,207	54,313	65,580	10	2,0	108,63	72,14	130,40	198,13
VI	СП-6															
	Шлейф(40,41)	2	11,619	23,238	1	0,18	0,55	1,518	4,183	6,352	2	3,00	12,55	6,99	14,36	21,82
	Верстат токарно-револьверний (40)	1	11,619	11,619	1	0,18	0,55	1,518	2,091	3,176						
	Шлейф(44,45)	2	3,641÷5,809	9,450	1,6	0,20	0,65	1,169	1,890	2,210	2	3,00	5,67	2,43	6,17	9,37
	Молот ковальський (45)	1	3,641	3,641	1	0,20	0,65	1,169	0,728	0,851						
	Шлейф(42,43)	2	7,000÷10,000	17,000	1,43	0,15	0,6	1,333	2,550	3,400	2	3,50	8,93	3,74	9,68	14,70
	Молот кувальний (43)	1	7,000	7,000	1	0,15	0,6	1,333	1,050	1,400						
	Шлейф(46,47)	2	0,825÷2,324	3,149	2,82	0,15	0,55	1,518	0,472	0,717	2	3,50	1,65	0,79	1,83	2,78
	Електрошліф.машина (46)	1	0,852	0,852	1	0,10	0,5	1,732	0,085	0,148						
	Верстат точильно-шліфувальний (48)	1	6,197	6,197	1	0,25	0,6	1,333	1,549	2,066						
	Шлейф(49,50)	2	2,324	4,648	1	0,20	0,6	1,333	0,930	1,239	2	3,00	2,79	1,36	3,10	4,72
	Верстат всерединішліфувальний (49)	1	2,324	2,324	1	0,20	0,6	1,333	0,465	0,620						
	Шлейф(51,52)	2	0,825÷2,324	3,149	2,82	0,15	0,55	1,518	0,472	0,717	2	3,50	1,65	0,79	1,83	2,78
	Електрошліфувальна машина (51)	1	0,852	0,852	1	0,10	0,5	1,732	0,085	0,148						
	<i>Разом з СП -6</i>	13	0,852÷11,619	60,634	>3	0,17	0,58	1,394	10,497	14,635	7	2,7	28,34	16,10	32,60	49,52
	Разом	64	173,408÷220,981	615,47	>3	0,21	0,65	1,183	129,09	152,73	3	2,1	271,1	167,999	318,93	484,583

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

2.1. Вибір схеми ЦТП, типу, числа та потужності трансформаторів з урахуванням компенсації реактивної потужності

Розрахунок третього рівня електропостачання

Середнє навантаження механічного цеху на 3-му рівні:

$$S_{зIII} = S_{зII} + S_{осв},$$

де $S_{зII}$ - розрахункове навантаження II - ого рівня, кВА; $S_{осв}$ - розрахункове навантаження робочої освітлювальної мережі, кВА;

$$S_{зIII.4} = 216,056 + 31,5 = 247,556 \text{ кВА.}$$

Середнє навантаження групи цехів (4, 8-10) на 3-му рівні:

$$S_{зIII} = k_M \cdot (247,556 + 420 + 128,57 + 103,89) = 726 \text{ кВА,}$$

де $k_M = 0,85$ - коефіцієнт збігу максимумів навантаження для будівель (4,8-10).

$$\cos \varphi_{ср.взв.} = \frac{\sum \cos \varphi_i \cdot P_i}{\sum P_i} = \frac{473,44}{646,03} = 0,733.$$

Вибір типу, числа та потужності трансформаторів з урахуванням компенсації реактивної потужності

1. Однотрансформаторна підстанція з резервуванням

Вибір трансформатора.

Номінальна потужність трансформатора:

$$S_{ном} = \frac{726}{1 \cdot 1} = 726 \text{ кВА.} \quad (2.1)$$

Приймаються до установки трансформатори з номінальною потужністю 1000кВА.

Перевірка на перевантажувальну здатність:

$$K_{з.тр.} = \frac{S_{см. III}}{N \cdot S_{ном. тр}} = \frac{726}{1 \cdot 1000} = 0,73. \quad (2.2)$$

Каталожні дані трансформатора:

ТМ – 1000/10/0,4: $P_x = 3 \text{ кВт}$ $P_k = 11,2 \text{ кВт}$; $U_k = 5,5\%$; $I_x = 1,5\%$.

Компенсація реактивної потужності до 1 кВ.

Найбільша реактивна потужність, яку доцільно передати через трансформатори до 1кВ:

$$Q_{\max.m.} = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{\text{ном.м.}})^2 - P_{\text{ср.м.}}^2}, \quad (2.3)$$

де $P_{\text{ср.м.}}$ - розрахункова активна потужність на II-рівні, кВт;

$$Q_{\max.m.} = \sqrt{(1 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 646,03^2} = 662,614.$$

Сумарна потужність конденсаторних батарей на напругу до 1 кВ:

$$Q_{\text{нк1}} = Q_{\text{ср.м.}} - Q_{\max.m.}, \quad (2.4)$$

де $Q_{\text{ср.м.}}$ - розрахункова реактивна потужність на II-рівні, кВАр;

$$Q_{\text{нк1}} = 590,706 - 662,614 = -71,908 \text{ кВАр.}$$

Так як $Q_{\text{нк1}} < 0$, встановлення батарей конденсаторів не потрібно.

Компенсація реактивної потужності для зниження втрат потужності в трансформаторах.

Додаткова потужність низьковольтної батареї конденсаторів (НБК):

$$Q_{\text{нк2}} = Q_{\text{ср.м.}} - Q_{\text{н.к.1}} - \gamma \cdot N \cdot S_{\text{ном.м.}}, \quad (2.5)$$

де γ – розрахунковий коефіцієнт, що залежить від розрахункових параметрів K_{p1} і K_{p2} , $K_{p1} = 15$, [2], $K_{p2} = 2$, [2],

тоді $\gamma = 0,65$, [2].

$$Q_{\text{нк2}} = 590,706 - 0 - 0,65 \cdot 1 \cdot 1000 = -59,294 \text{ кВАр.}$$

Так як $Q_{\text{нк2}} < 0$, то встановлення батареї конденсаторів не потрібно.

2. Двотрансформаторна підстанція

Вибір трансформаторів.

Номінальна потужність трансформатора:

$$S_{\text{ном.}} = \frac{S_{\text{змIII}}}{N \cdot K_3}, \quad (2.6)$$

де N – число трансформаторів, K_3 - коефіцієнт завантаження [2].

Приймаємо $K_3 = 0,7$;

$$S_{ном.} = \frac{726}{2 \cdot 0,7} = 518,57 \text{ кВА.}$$

Приймаються до установки трансформатори з номінальною потужністю 630кВА.

Перевірка на перевантажувальну здатність:

$$K_{з.тр.} = \frac{S_{см.ІІІ}}{N \cdot S_{ном.тр.}} \frac{726}{2 \cdot 630} = 0,58 \leq 0,7. \quad (2.7)$$

Каталожні дані трансформатора:

ТМ - 630/10/0,4: $P_x = 2 \text{ кВт}; P_K = 7,3 \text{ кВт}; U_K = 5,5\%; I_X = 1,5\%$;

Компенсація реактивної потужності до 1 кВ.

Найбільша реактивна потужність, яку доцільно передати через трансформатори до 1кВ:

$$Q_{\max.т.} = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{ном.т.})^2 - P_{ср.т.}^2},$$

де $P_{ср.т.}$ - розрахункова активна потужність на II-рівні, кВт;

$$Q_{\max.т.} = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 646,03^2} = 931,99 \text{ кВАр.}$$

Сумарна потужність конденсаторних батарей на напругу до 1 кВ:

$$Q_{нк1} = Q_{ср.т.} - Q_{\max.т.},$$

де $Q_{ср.т.}$ - розрахункова реактивна потужність на II-рівні, кВАр;

$$Q_{нк1} = 590,706 - 931,99 = -341,282 \text{ кВАр.}$$

Так як $Q_{нк1} < 0$, встановлення батареї конденсаторів не потрібно.

Компенсація реактивної потужності для зниження втрат потужності в трансформаторах.

Додаткова потужність НБК:

$$Q_{нк2} = Q_{ср.т.} - Q_{н.к.1} - \gamma \cdot N \cdot S_{ном.т.},$$

де γ – розрахунковий коефіцієнт, що залежить від розрахункових параметрів $K_{р1}$ і $K_{р2}$, $K_{р1} = 15$, [2], $K_{р2} = 2$, [2], тоді $\gamma = 0,65$, [2].

$$Q_{нк2} = 590,706 - 0 - 0,65 \cdot 2 \cdot 670 = -280,294 \text{ кВАр.}$$

Так як $Q_{нк2} < 0$, то встановлення батареї конденсаторів не потрібно.

Розрахунок четвертого рівня електропостачання

Потужність на четвертому рівні:

$$S_{зМІV} = S_{зМІІІ} + \Delta S_{mp}, \quad (2.8)$$

де ΔS_{mp} - втрати потужності в трансформаторі, кВА;

Варіант 1

$$\Delta S_{mp} = \sqrt{\Delta P_{mp}^2 + \Delta Q_{mp}^2}, \quad (2.9)$$

$$\Delta P_{mp} = \frac{\Delta P_k}{n} \cdot \frac{S^2}{S_{ном}^2} + n\Delta P_x = \frac{11,2}{1} \cdot \frac{726^2}{1000^2} + 1 \cdot 3 = 9,121 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{mp} = \frac{1}{n} \cdot \frac{u_k \%}{100} \cdot \frac{S^2}{S_{ном}} + \frac{n \cdot I_x \% \cdot S_{ном}}{100} = \frac{1}{1} \cdot \frac{5,5}{100} \cdot \frac{726^2}{1000} + \frac{1 \cdot 1,5 \cdot 1000}{100} = 45,06 \text{ кВАр};$$

$$\Delta S_{mp} = \sqrt{9,121^2 + 45,06^2} = 45,974 \text{ кВА};$$

$$S_{зМІV} = 726 + 45,974 = 771,975 \text{ кВА}.$$

Варіант 2

$$\Delta S_{mp} = \sqrt{\Delta P_{mp}^2 + \Delta Q_{mp}^2},$$

де

$$\Delta P_{mp} = \frac{\Delta P_k}{n} \cdot \frac{S^2}{S_{ном}^2} + n\Delta P_x = \frac{7,2}{2} \cdot \frac{726^2}{630^2} + 2 \cdot 2 = 9,012 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{mp} = \frac{1}{n} \cdot \frac{u_k \%}{100} \cdot \frac{S^2}{S_{ном}} + \frac{n \cdot I_x \% \cdot S_{ном}}{100} = \frac{1}{2} \cdot \frac{5,5}{100} \cdot \frac{726}{630} + \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 630}{100} = 42,690 \text{ кВАр};$$

$$\Delta S_{mp} = \sqrt{9,012^2 + 42,690^2} = 43,631 \text{ кВА};$$

$$S_{зМІV} = 738,239 + 43,631 = 769,631 \text{ кВА}.$$

2.2. Вибір варіанту схем на низькій стороні напруги

Вибір перетинів кабельних ліній

Перетини проводів і жил кабелів цехової мережі вибираємо по нагріванню тривалим розрахунковим струмом:

$$I_p \leq K_{с.н} \cdot I_{доп},$$

де $K_{с.н}$ - поправочний коефіцієнт для умови прокладання проводів і кабелів,

$K_{с.н} = 1$; $I_{доп}$ - тривало допустимий струм провідника, А.

Використовуємо кабель марки АВВГ.

1. Вибір перетинів кабельних ліній для першого варіанту

Для першого варіанту вибираємо перетину кабельних ліній від СП до шин **ввідно-розподільчого пристрою (ВРП)**, і для електроприймачів з'єднаних шлейфом.

Як приклад розглянемо вибір перетину кабельної лінії для ЕП №40,41 з'єднаних шлейфом.

Розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{S_{40,41}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{14,36}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 82,04 \text{ А.}$$

Згідно ПУЕ вибираємо перетин 10 мм^2 . Для інших ЕП розрахунок аналогічний.

Результати розрахунків зведемо в таблицю 2.1.

2. Вибір перетинів кабельних ліній для другого варіанту

У другому варіанті вибираємо перетини кабельних ліній для СП і для ЕП з'єднаних шлейфом. Приклад розрахунку ми розглядали в пункті 2.1. Вибір кабельних ліній для другого варіанту запишемо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.1

Розташування кабелю	I, А	Іном, А	Переріз кабелю	Марка кабелю
СП – 1	153,39	165	95	АВВГ 3×95+1×50
СП – 2	97,26	110	50	АВВГ 3×50+1×25
СП – 3	65,67	75	25	АВВГ 3×25+1×16
СП – 4	68,77	75	25	АВВГ 3×25+1×16
СП – 5	94,61	110	50	АВВГ 3×50+1×25
СП – 6	49,52	60	16	АВВГ 3×16+1×10
Шлейф(1,4)	38,39	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(6,7)	26,40	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(8,68)	49,35	60	16	АВВГ 3×16+1×10
Шлейф(9,10)	13,56	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(2,3)	38,39	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(11,12)	16,41	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (13,14)	21,82	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (15,18)	2,58	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (16,17)	9,62	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (53,54,55)	22,40	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (53,54)	15,37	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (56,57,58)	22,40	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (57,58)	15,37	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(19,20)	9,81	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (21,22)	13,40	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (23,24)	21,01	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(25,26)	9,81	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(60,61)	30,12	45	10	АВВГ 3×10+1×6

Розташування кабелю	I, А	Іном, А	Переріз кабелю	Марка кабелю
Шлейф(27,28)	17,79	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (31,32,33)	6,89	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (32,33)	4,72	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (29,30)	7,36	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(36,63)	13,11	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (64,65)	8,65	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(37,66,67)	7,82	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(66,67)	2,59	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(38,39)	9,37	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(34,35)	21,82	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(40,41)	21,82	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(44,45)	9,37	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(42,43)	14,70	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(46,47)	2,78	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(49,50)	4,72	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(51,52)	2,78	45	10	АВВГ 3×10+1×6

Таблиця 2.2

Розташування кабелю	I, А	Іном, А	Перетин кабелю	Марка кабелю
СП - 1	153,39	165	95	АВВГ 3×95+1×50
СП - 2	97,26	75	25	АВВГ 3×25+1×16
СП - 3	168,70	200	120	АВВГ 3×120+1×70
СП - 4	68,77	75	25	АВВГ 3×25+1×16
СП - 5	178,91	200	120	АВВГ 3×120+1×70
СП - 6	49,52	60	16	АВВГ 3×16+1×10
Шлейф(1,4)	38,39	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(6,7)	26,40	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(8,68)	49,35	45	16	АВВГ 3×16+1×10
Шлейф(9,10)	13,56	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(2,3)	38,39	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(11,12)	16,41	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (13,14)	21,82	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (15,18)	2,58	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (16,17)	9,62	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (53,54,55)	22,40	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (53,54)	15,37	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (56,57,58)	22,40	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (57,58)	15,37	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(19,20)	9,81	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (21,22)	13,40	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (23,24)	21,01	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(25,26)	9,81	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(60,61)	30,12	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(27,28)	17,79	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (31,32,33)	6,89	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (32,33)	4,72	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (29,30)	7,36	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(36,63)	13,11	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф (64,65)	8,65	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(37,66,67)	7,82	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(66,67)	2,59	45	10	АВВГ 3×10+1×6

Розташування кабелю	I, А	Іном, А	Перетин кабелю	Марка кабелю
Шлейф(38,39)	9,37	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(34,35)	21,82	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(40,41)	21,82	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(44,45)	9,37	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(42,43)	14,70	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(46,47)	2,78	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(49,50)	4,72	45	10	АВВГ 3×10+1×6
Шлейф(51,52)	2,78	45	10	АВВГ 3×10+1×6

Вибір розподільних пунктів

Для прийому і розподілу електроенергії до груп споживачів застосовують силові розподільні шафи і пункти. Вибираємо шафи серії ШРС. Шафи мають на вводі рубильник, а на висновках - запобіжники. Шафи вибираємо з урахуванням числа підключаються електроприймачів, розрахункового струму кожного ЕП і розрахункового струму всієї групи:

$$I_p \leq I_{ном},$$

де $I_{ном}$ - номінальний струм розподільного пункту, А; I_p - розрахунковий струм, А

Вибір силових пунктів зведемо в таблицю 2.3 и 2.4.

Таблиця 2.3 – Варіант 1

Найменування	Марка	Іроб,А	Іном,А	Необх.число приєднань	Ном. число приєднань	Ціна, грн
СП-1	ПР11 3056-21У3	153,39	250	7	8	2233,27
СП-2	ПР11 3056-21У3	97,26	100	5	8	1489,76
СП-3	ПР11 3056-21У3	65,67	100	5	8	1593,08
СП-4	ПР11 3056-21У3	68,77	100	6	8	1489,76
СП-5	ПР11 3056-21У3	94,61	100	6	8	1489,76
СП-6	ПР11 3056-21У3	49,52	60	7	8	926,37
Разом	9222,01					

Таблиця 2.4 – Варіант 2

Найменування	Марка	Іроб,А	Іном,А	Необх.число приєднань	Ном. число приєднань	Ціна, грн
СП-1	ПР11 3056-21У3	153,39	250	7	8	2233,27
СП-2	ПР11 3056-21У3	65,67	100	5	8	1489,76
СП-3	ПР11 3056-21У3	168,70	250	6	8	2233,27
СП-4	ПР11 3056-21У3	68,77	100	6	8	1489,76
СП-5	ПР11 3056-21У3	178,91	100	7	8	1489,76
СП-6	ПР11 3056-21У3	49,52	60	7	8	926,37
Разом	9862,19					

Вибір комутаційно-захисних апаратів

Як комутаційно-захисні апарати вибираємо автоматичні вимикачі, а для СП, ШРС - запобіжники.

При виборі автоматичних вимикачів необхідно враховувати наступні вимоги:

- номінальна напруга вимикачу не повинна бути нижче напруги мережі;
- номінальний струм розчіплювача повинен бути не менше найбільшого розрахункового струму навантаження, якій тривалий час протікає по захищаному елементу.

Плавку вставку для запобіжників вибираємо по довгостроково припустимому струму:

$$I_{ном.вст.} \geq I_{p\max}; \quad (2.10)$$

$$I_{ном.розч} \geq I_n; \quad (2.11)$$

1. Вибір комутаційно-захисних апаратів для першого варіанту

Для першого варіанту на лініях, що відходять вибираємо автоматичні вимикачі серії АЕ-2036ММ, а на вводах силового пункту з розрахунковим струмом понад 80 А - автоматичні вимикачі серії ВА - 5135.

Для прикладу в першому варіанті для ЕП №-5 крана-балки вибирається вимикач марки АЕ2036ММ-16А.

$$I_{ном.вст.} = 16,0\text{А} \geq I_{p\max} = 13,67\text{ А}; \quad I_{ном.розч} = 100 \geq I_n = 68,37\text{ А}.$$

Вибір апаратів запишемо в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5

Найменування вузлів живлення і груп електроприймачів	Розрахунковий струм, А	Іном.авт., А	І розч.авт., А	Іпуск/І пік, А	Марка автоматичного вимикача	Ціна, грн
СП - 1						
від СП1 до 1	38,39	40	200	191,95	АЕ-2036ММ-40А	188,68
від 1 до 4	37,70	40	200	188,49	АЕ-2036ММ-40А	188,68
від СП1 до 6	26,40	31,5	150	131,98	АЕ-2036ММ-31,5А	188,68
від 6 до 7	28,98	31,5	150	144,91	АЕ-2036ММ-31,5А	188,68
від СП1 до 68	49,35	50	250	246,75	АЕ-2036ММ-50А	188,68
від 68 до 8	28,98	31,5	150	144,91	АЕ-2036ММ-31,5А	188,68
від СП1 до 5	13,67	16	100	68,369	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від СП1 до 10	13,56	16	100	67,822	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від 10 до 9	11,80	16	100	59,012	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від СП1 до 3	38,39	40	200	191,95	АЕ-2036ММ-40А	188,68

Найменування вузлів живлення і груп електроприймачів	Розрахунковий струм, А	Іном.авт., А	І розч.авт., А	Іпуск/І пік, А	Марка автоматичного вимикача	Ціна, грн
від 3 до 2	37,70	40	200	188,49	АЕ-2036ММ-40А	188,68
від СП1 до 11	16,41	20	100	82,049	АЕ-2036ММ-20А	188,68
від 11 до 12	18,02	20	100	90,086	АЕ-2036ММ-20А	188,68
СП - 2						
від СП2 до 69	58,60	80	300	293,02	АЕ-2056М-80А	418,4
від СП2 до 13	21,82	25	150	109,11	АЕ-2036ММ-25А	188,68
від 13 до 14	24,07	25	150	120,36	АЕ-2036ММ-25А	188,68
від СП2 до 18	2,58	2,5	50	12,879	АЕ-2036ММ-2,5А	188,68
від 18 до 15	1,97	2,5	50	9,8269	АЕ-2036ММ-2,5А	188,68
від СП2 до 16	9,62	10	50	48,086	АЕ-2036ММ-10А	188,68
від 16 до 17	6,79	8	50	33,95	АЕ-2036ММ-8А	188,68
від СП2 до 55	22,40	25	150	112,01	АЕ-2036ММ-25А	188,68
від 55 до 54	15,37	16	100	76,828	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від 54 до 53	13,58	16	100	67,894	АЕ-2036ММ-16А	188,68
СП - 3						
від СП3 до 56	22,41	25	150	112,03	АЕ-2036ММ-25А	188,68
від 56 до 57	15,37	16	50	76,847	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від 57 до 58	13,58	16	50	67,894	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від СП3 до 19	9,81	10	50	49,037	АЕ-2036ММ-10А	188,68
від 19 до 20	14,71	16	100	73,553	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від СП3 до 22	13,40	16	100	66,992	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від 22 до 21	14,71	16	100	73,553	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від СП3 до 23	21,01	25	150	105,07	АЕ-2036ММ-25А	188,68
від 23 до 24	17,65	20	100	88,266	АЕ-2036ММ-20А	188,68
від СП3 до 59	21,62	25	150	108,1	АЕ-2036ММ-25А	188,68
СП - 4						
від СП4 до 25	10,93	12,5	100	54,63	АЕ-2036ММ-12,5А	188,68
від 25 до 26	14,71	16	100	73,553	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від СП4 до 60	30,12	31,5	200	150,61	АЕ-2036ММ-31,5А	188,68
від 60 до 61	35,31	40	200	176,53	АЕ-2036ММ-40А	188,68
від СП4 до 27	17,79	20	100	88,969	АЕ-2036ММ-20А	188,68
від 27 до 28	17,65	20	100	88,266	АЕ-2036ММ-20А	188,68
від СП4 до 62	21,62	25	150	108,1	АЕ-2036ММ-25А	188,68
від СП4 до 31	6,88	8	50	34,425	АЕ-2036ММ-8А	188,68
від 31 до 32	4,72	5	50	23,582	АЕ-2036ММ-5А	188,68
від 32 до 33	4,41	5	50	22,068	АЕ-2036ММ-5А	188,68
від СП4 до 30	7,35	8	50	36,774	АЕ-2036ММ-8А	188,68
від 30 до 29	1,94	2,5	50	9,71	АЕ-2036ММ-2,5А	188,68
СП - 5						
від СП5 до 70	58,60	80	300	293,02	АЕ-2056М-80А	418,4
від СП5 до 36	13,11	16	100	65,571	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від 36 до 63	14,71	16	100	73,553	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від СП5 до 64	8,65	10	50	43,232	АЕ-2036ММ-10А	188,68
від 64 до 65	4,41	5	50	22,068	АЕ-2036ММ-5А	188,68
від СП5 до 37	8,58	10	50	42,883	АЕ-2036ММ-10А	188,68
від 37 до 66	2,59	5	50	12,975	АЕ-2036ММ-5А	188,68
від 66 до 67	1,97	2,5	50	9,8269	АЕ-2036ММ-2,5А	188,68
від СП5 до 38	9,37	10	50	46,864	АЕ-2036ММ-10А	188,68
від 38 до 39	6,38	8	50	31,908	АЕ-2036ММ-8А	188,68
від СП5 до 34	21,82	25	150	109,11	АЕ-2036ММ-25А	188,68
від 34 до 35	24,07	25	150	120,36	АЕ-2036ММ-25А	188,68
СП - 6						
від СП6 до 41	21,82	25	150	109,11	АЕ-2036ММ-25А	188,68
від 41 до 42	22,79	25	150	113,95	АЕ-2036ММ-25А	188,68
від СП6 до 44	9,37	10	50	46,864	АЕ-2036ММ-10А	188,68

Найменування вузлів живлення і груп електроприймачів	Розрахунковий струм, А	Іном.авт., А	І розч.авт., А	Іпуск/І пік, А	Марка автоматичного вимикача	Ціна, грн
від 44 до 45	6,38	8	50	31,908	АЕ-2036ММ-8А	188,68
від СП6 до 42	14,70	16	100	73,513	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від 42 до 43	15,95	16	100	79,765	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від СП6 до 47	3,03	5	50	15,152	АЕ-2036ММ-5А	188,68
від 47 до 46	1,94	2,5	50	9,71	АЕ-2036ММ-2,5А	188,68
від СП6 до 50	4,72	5	50	23,582	АЕ-2036ММ-5А	188,68
від 50 до 49	4,41	5	50	22,068	АЕ-2036ММ-5А	188,68
від СП6 до 48	11,77	12,5	100	58,844	АЕ-2036ММ-12,5А	188,68
від СП6 до 52	2,78	5	50	13,916	АЕ-2036ММ-5А	188,68
від 52 до 51	1,94	2,5	50	9,71	АЕ-2036ММ-2,5А	188,68
СП - 1	153,390	160	800	766,95	ВА-5135	1880
СП - 2	97,26	100	500	486,3	ВА-5135	1880
СП - 3	65,67	100	400	328,35	АЕ-2056М-80А	418,4
СП - 4	68,77	80	400	343,85	АЕ-2056М-80А	418,4
СП - 5	94,61	100	500	473,05	ВА-5135	1880
СП - 6	49,52	50	250	247,6	АЕ-2036ММ-50А	188,68
Разом						20332,52

2. Вибір комутаційно-захисних апаратів для другого варіанту

Таблиця 2.6

Найменування вузлів живлення і груп електроприймачів	Розрахунковий струм, А	Іном.авт., А	І розч.авт., А	Іпуск/І пік, А	Марка автоматичного вимикача	Ціна, грн
СП - 1						
від СП1 до 1	38,39	40	200	191,95	АЕ-2036ММ-40А	188,68
від 1 до 4	37,70	40	200	188,49	АЕ-2036ММ-40А	188,68
від СП1 до 6	26,40	31,5	150	131,98	АЕ-2036ММ-31,5А	188,68
від 6 до 7	28,98	31,5	150	144,91	АЕ-2036ММ-31,5А	188,68
від СП1 до 68	49,35	50	250	246,75	АЕ-2036ММ-50А	188,68
від 68 до 8	28,98	31,5	150	144,91	АЕ-2036ММ-31,5А	188,68
від СП1 до 5	13,67	16	100	68,369	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від СП1 до 10	13,56	16	100	67,822	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від 10 до 9	11,80	16	100	59,012	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від СП1 до 3	38,39	40	200	191,95	АЕ-2036ММ-40А	188,68
від 3 до 2	37,70	40	200	188,49	АЕ-2036ММ-40А	188,68
від СП1 до 11	16,41	20	100	82,049	АЕ-2036ММ-20А	188,68
від 11 до 12	18,02	20	100	90,086	АЕ-2036ММ-20А	188,68
СП - 2						
від СП2 до 56	22,41	25	150	112,03	АЕ-2036ММ-25А	188,68
від 56 до 57	15,37	16	100	76,847	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від 57 до 58	13,58	16	100	67,894	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від СП2 до 19	9,81	10	50	49,037	АЕ-2036ММ-10А	188,68
від 19 до 20	14,71	16	100	73,553	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від СП2 до 22	13,40	16	100	66,992	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від 22 до 21	14,71	16	100	73,553	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від СП2 до 23	21,01	25	150	105,07	АЕ-2036ММ-25А	188,68
від 23 до 24	17,65	20	100	88,266	АЕ-2036ММ-20А	188,68
від СП2 до 59	21,62	25	150	108,1	АЕ-2036ММ-25А	188,68
СП - 3						
від СП3 до 69	58,60	80	300	293,02	АЕ-2056М-80А	418,4
від СП3 до 13	21,82	25	150	109,11	АЕ-2036ММ-25А	188,68
від 13 до 14	24,07	25	150	120,36	АЕ-2036ММ-25А	188,68

Найменування вузлів живлення і груп електроприймачів	Розрахунковий струм, А	Іном.авт., А	І розч.авт., А	Іпуск/І пік, А	Марка автоматичного вимикача	Ціна, грн
від СП3 до 18	2,58	2,5	50	12,879	АЕ-2036ММ-2,5А	188,68
від 18 до 15	1,97	2,5	50	9,8269	АЕ-2036ММ-2,5А	188,68
від СП3 до 16	9,62	10	50	48,086	АЕ-2036ММ-10А	188,68
від 16 до 17	6,79	8	50	33,95	АЕ-2036ММ-8А	188,68
від СП3 до 55	22,40	25	150	112,01	АЕ-2036ММ-25А	188,68
від 55 до 54	15,37	16	100	76,828	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від 54 до 53	13,58	16	100	67,894	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від СП3 до СП2	65,67	80	400	328,35	АЕ-2056М-80А	418,4
СП - 4						
від СП4 до 25	10,93	12,5	100	54,63	АЕ-2036ММ-12,5А	188,68
від 25 до 26	14,71	16	100	73,553	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від СП4 до 60	30,12	31,5	200	150,61	АЕ-2036ММ-31,5А	188,68
від 60 до 61	35,31	40	200	176,53	АЕ-2036ММ-40А	188,68
від СП4 до 27	17,79	20	100	88,969	АЕ-2036ММ-20А	188,68
від 27 до 28	17,65	20	100	88,266	АЕ-2036ММ-20А	188,68
від СП4 до 62	21,62	25	150	108,1	АЕ-2036ММ-25А	188,68
від СП4 до 31	6,88	8	50	34,425	АЕ-2036ММ-8А	188,68
від 31 до 32	4,72	5	50	23,582	АЕ-2036ММ-5А	188,68
від 32 до 33	4,41	5	50	22,068	АЕ-2036ММ-5А	188,68
від СП4 до 30	7,35	8	50	36,774	АЕ-2036ММ-8А	188,68
від 30 до 29	1,94	2,5	50	9,71	АЕ-2036ММ-2,5А	188,68
СП - 5						
від СП5 до 70	58,60	80	300	293,02	АЕ-2056М-80А	418,4
від СП5 до 36	13,11	16	100	65,571	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від 36 до 63	14,71	16	100	73,553	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від СП5 до 64	8,65	10	50	43,232	АЕ-2036ММ-10А	188,68
від 64 до 65	4,41	5	50	22,068	АЕ-2036ММ-5А	188,68
від СП5 до 37	8,58	10	50	42,883	АЕ-2036ММ-10А	188,68
від 37 до 66	2,59	5	50	12,975	АЕ-2036ММ-5А	188,68
від 66 до 67	1,97	2,5	50	9,8269	АЕ-2036ММ-2,5А	188,68
від СП5 до 38	9,37	10	50	46,864	АЕ-2036ММ-10А	188,68
від 38 до 39	6,38	8	50	31,908	АЕ-2036ММ-8А	188,68
від СП5 до 34	21,82	25	150	109,11	АЕ-2036ММ-25А	188,68
від 34 до 35	24,07	25	150	120,36	АЕ-2036ММ-25А	188,68
от СП5 до СП - 4	68,77	80	400	343,85	АЕ-2056М-80А	418,4
от СП5 до СП - 6	49,52	50	300	247,6	АЕ-2036ММ-50А	188,68
СП - 6						
від СП6 до 41	21,82	25	150	109,11	АЕ-2036ММ-25А	188,68
від 41 до 42	22,79	25	150	113,95	АЕ-2036ММ-25А	188,68
від СП6 до 44	9,37	10	50	46,864	АЕ-2036ММ-10А	188,68
від 44 до 45	6,38	8	50	31,908	АЕ-2036ММ-8А	188,68
від СП6 до 42	14,70	16	100	73,513	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від 42 до 43	15,95	16	100	79,765	АЕ-2036ММ-16А	188,68
від СП6 до 47	3,03	5	50	15,152	АЕ-2036ММ-5А	188,68
від 47 до 46	1,94	2,5	50	9,71	АЕ-2036ММ-2,5А	188,68
від СП6 до 50	4,72	5	50	23,582	АЕ-2036ММ-5А	188,68
від 50 до 49	4,41	5	50	22,068	АЕ-2036ММ-5А	188,68
від СП6 до 48	11,77	12,5	100	58,844	АЕ-2036ММ-12,5А	188,68
від	2,78	5	50	13,916	АЕ-2036ММ-5А	188,68
від 52 до 51	1,94	2,5	50	9,71	АЕ-2036ММ-2,5А	188,68
СП - 1	153,390	160	800	766,95	ВА-5135	1880
СП - 3	168,7	200	1000	843,5	ВА-5135	1880
СП - 5	178,91	200	1000	894,55	ВА-5135	1880
Разом						20332,52

Розрахунок втрат потужності і напруги в цеховій розподільній мережі

Втрати потужності і напруги в розподільній мережі складаються з втрат в кабелях і шинопроводах.

Втрати потужності в цеховій розподільній мережі

Втрати потужності в кабельній лінії або в шинопроводі знаходимо за формулою:

$$\Delta P = 3 \cdot I_{p.\max}^2 \cdot l \cdot r_{y\delta} \cdot 10^{-6},$$

де $I_{p.\max}$ - максимальний розрахунковий струм, А; l - довжина кабельної лінії або шинопровода, м; $r_{y\delta}$ - питомий опір кабельної лінії або шинопровода, Ом/км.

Як приклад розрахуємо втрати потужності в кабелі від ЕП №5 до СП-1.

Втрати потужності:

$$\Delta P = 3 \cdot I_{p.\max}^2 \cdot l \cdot r_{y\delta} \cdot 10^{-6} = 3 \cdot 13,674^2 \cdot 13,7 \cdot 3,1 \cdot 10^{-6} = 0,024 \text{ кВт};$$

Втрати потужності для першого варіанту зведемо в таблицю 2.7

Таблиця 2.7

Місце положення кабелю	I_m , А	l , м	$r_{y\delta}$, Ом/м	$x_{y\delta}$, Ом/м	ΔP , кВт
1	2	3	4	5	6
від СП1 до 1	38,389	3,1	0,00310	0,000073	0,042
від 1 до 4	37,697	3,2	0,00310	0,000073	0,042
від СП1 до 6	26,395	10,6	0,00310	0,000073	0,068
від 6 до 7	28,981	3,5	0,00310	0,000073	0,027
від СП1 до 68	49,350	19,1	0,00194	0,000070	0,271
від 68 до 8	28,981	3,6	0,00310	0,000073	0,028
від СП1 до 5	13,674	13,7	0,00310	0,000073	0,024
від СП1 до 10	13,564	11,2	0,00310	0,000073	0,019
від 10 до 9	11,802	3,1	0,00310	0,000073	0,004
від СП1 до 3	38,389	5,0	0,00310	0,000073	0,068
від 3 до 2	37,698	5,8	0,00310	0,000073	0,077
від СП1 до 11	16,410	16,2	0,00310	0,000073	0,040
від 11 до 12	18,017	3,3	0,00310	0,000073	0,010
від СП2 до 69	58,604	13,9	0,00194	0,000070	0,277
від СП2 до 13	21,821	8,1	0,00310	0,000073	0,036
від 13 до 14	24,072	5,2	0,00310	0,000073	0,028
від СП2 до 18	2,576	12,2	0,00310	0,000073	0,001
від 18 до 15	1,965	6,2	0,00310	0,000073	0,000
від СП2 до 16	9,617	4,9	0,00310	0,000073	0,004
від 16 до 17	6,790	5,8	0,00310	0,000073	0,002
від СП2 до 55	22,401	17,0	0,00310	0,000073	0,079
від 55 до 54	15,366	5,1	0,00310	0,000073	0,011
від 54 до 53	13,579	5,1	0,00310	0,000073	0,009
від СП3 до 56	22,406	9,2	0,00310	0,000073	0,043

Місце положення кабелю	I_m, A	l, m	$r_{уд}, Ом/м$	$x_{уд}, Ом/м$	$\Delta P, кВт$
від 56 до 57	15,369	5,1	0,00310	0,000073	0,011
від 57 до 58	13,579	5,1	0,00310	0,000073	0,009
від СП3 до 19	9,807	12,6	0,00310	0,000073	0,011
від 19 до 20	14,711	7,9	0,00310	0,000073	0,016
від СП3 до 22	13,398	12,3	0,00310	0,000073	0,021
від 22 до 21	14,711	5,7	0,00310	0,000073	0,011
від СП3 до 23	21,013	19,8	0,00310	0,000073	0,081
від 23 до 24	17,653	7,7	0,00310	0,000073	0,022
від СП3 до 59	21,621	11,8	0,00310	0,000073	0,051
від СП4 до 25	10,926	5,6	0,00310	0,000073	0,006
від 25 до 26	14,711	7,9	0,00310	0,000073	0,016
від СП4 до 60	30,123	13,6	0,00310	0,000073	0,115
від 60 до 61	35,306	5,1	0,00310	0,000073	0,059
від СП4 до 27	17,794	4,9	0,00310	0,000073	0,014
від 27 до 28	17,653	5,1	0,00310	0,000073	0,015
від СП4 до 62	21,621	19,5	0,00310	0,000073	0,085
від СП4 до 31	6,885	12,3	0,00310	0,000073	0,005
від 31 до 32	4,716	2,6	0,00310	0,000073	0,001
від 32 до 33	4,414	2,6	0,00310	0,000073	0,000
від СП4 до 30	7,355	6,2	0,00310	0,000073	0,003
від 30 до 29	1,942	3,1	0,00310	0,000073	0,000
від СП5 до 70	58,604	4,0	0,00194	0,000070	0,080
від СП5 до 36	13,114	6,5	0,00310	0,000073	0,010
від 36 до 63	14,711	9,1	0,00310	0,000073	0,018
від СП5 до 64	8,646	13,4	0,00310	0,000073	0,009
від 64 до 65	4,414	2,5	0,00310	0,000073	0,000
від СП5 до 37	8,577	12,4	0,00310	0,000073	0,008
від 37 до 66	2,595	5,7	0,00310	0,000073	0,000
від 66 до 67	1,965	3,1	0,00310	0,000073	0,000
від СП5 до 38	9,373	10,6	0,00310	0,000073	0,009
від 38 до 39	6,382	4,3	0,00310	0,000073	0,002
від СП5 до 34	21,821	4,3	0,00310	0,000073	0,019
від 34 до 35	24,072	4,7	0,00310	0,000073	0,025
від СП6 до 41	21,821	9,1	0,00310	0,000073	0,040
від 41 до 42	22,790	4,3	0,00310	0,000073	0,021
від СП6 до 44	9,373	6,6	0,00310	0,000073	0,005
від 44 до 45	6,382	4,3	0,00310	0,000073	0,002
від СП6 до 42	14,703	10,5	0,00310	0,000073	0,021
від 42 до 43	15,953	4,8	0,00310	0,000073	0,011
від СП6 до 47	3,030	7,9	0,00310	0,000073	0,001
від 47 до 46	1,942	3,7	0,00310	0,000073	0,000
від СП6 до 50	4,716	8,3	0,00310	0,000073	0,002
від 50 до 49	4,414	3,7	0,00310	0,000073	0,001
від СП6 до 48	11,769	4,8	0,00310	0,000073	0,006
від СП6 до 52	2,783	6,0	0,00310	0,000073	0,000
від 52 до 51	1,942	3,7	0,00310	0,000073	0,000
від СП1 до ЦТП	153,382	80,0	0,000326	0,0000602	1,841
від СП2 до ЦТП	97,253	64,0	0,00062	0,0000625	1,126
від СП3 до ЦТП	65,669	73,5	0,00194	0,0000625	1,845
від СП4 до ЦТП	68,767	67,0	0,00194	0,0000625	1,844
від СП5 до ЦТП	94,605	78,0	0,00062	0,0000625	1,298
від СП6 до ЦТП	49,523	107,5	0,00194	0,000070	1,534
Разом					11,544 кВт

Втрати потужності для другого варіанту зведемо в таблицю 2.8

Таблиця 2.8

Місце положення кабелю	I_m, A	l, m	$r_{уд}, Ом/м$	$x_{уд}, Ом/м$	$\Delta P, кВт$
1	2	3	4	5	6
від СП1 до 1	38,389	3,1	0,00310	0,000073	0,042
від 1 до 4	37,697	3,2	0,00310	0,000073	0,042
від СП1 до 6	26,395	10,6	0,00310	0,000073	0,068
від 6 до 7	28,981	3,5	0,00310	0,000073	0,027
від СП1 до 68	49,350	19,1	0,00194	0,000070	0,271
від 68 до 8	28,981	3,6	0,00310	0,000073	0,028
від СП1 до 5	13,674	13,7	0,00310	0,000073	0,024
від СП1 до 10	13,564	11,2	0,00310	0,000073	0,019
від 10 до 9	11,802	3,1	0,00310	0,000073	0,004
від СП1 до 3	38,389	5,0	0,00310	0,000073	0,068
від 3 до 2	37,698	5,8	0,00310	0,000073	0,077
від СП1 до 11	16,410	16,2	0,00310	0,000073	0,040
від 11 до 12	18,017	3,3	0,00310	0,000073	0,010
від СП2 до 56	22,406	9,2	0,00310	0,000073	0,043
від 56 до 57	15,369	5,1	0,00310	0,000073	0,011
від 57 до 58	13,579	5,1	0,00310	0,000073	0,009
від СП2 до 19	9,807	12,6	0,00310	0,000073	0,011
від 19 до 20	14,711	7,9	0,00310	0,000073	0,016
від СП2 до 22	13,398	12,3	0,00310	0,000073	0,021
від 22 до 21	14,711	5,7	0,00310	0,000073	0,011
від СП2 до 23	21,013	19,8	0,00310	0,000073	0,081
від 23 до 24	17,653	7,7	0,00310	0,000073	0,022
від СП2 до 59	21,621	11,8	0,00310	0,000073	0,051
від СП3 до 69	58,604	13,9	0,00194	0,000070	0,277
від СП3 до 13	21,821	8,1	0,00310	0,000073	0,036
від 13 до 14	24,072	5,2	0,00310	0,000073	0,028
від СП3 до 18	2,576	12,2	0,00310	0,000073	0,001
від 18 до 15	1,965	6,2	0,00310	0,000073	0,000
від СП3 до 16	9,617	4,9	0,00310	0,000073	0,004
від 16 до 17	6,790	5,8	0,00310	0,000073	0,002
від СП3 до 55	22,401	17,0	0,00310	0,000073	0,079
від 55 до 54	15,366	5,1	0,00310	0,000073	0,011
від 54 до 53	13,579	5,1	0,00310	0,000073	0,009
від СП2 до СП3	88,727	27,2	0,00310	0,000073	1,991
від СП4 до 25	10,926	5,1	0,00310	0,000073	0,006
від 25 до 26	14,711	7,9	0,00310	0,000073	0,016
від СП4 до 60	30,123	13,6	0,00310	0,000073	0,115
від 60 до 61	35,306	5,1	0,00310	0,000073	0,059
від СП4 до 27	17,794	4,9	0,00310	0,000073	0,014
від 27 до 28	17,653	5,1	0,00310	0,000073	0,015
від СП4 до 62	21,621	19,5	0,00310	0,000073	0,085
від СП4 до 31	6,885	12,3	0,00310	0,000073	0,005
від 31 до 32	4,716	2,6	0,00310	0,000073	0,001
від 32 до 33	4,414	2,6	0,00310	0,000073	0,000
від СП4 до 30	7,355	6,2	0,00310	0,000073	0,003
від 30 до 29	1,942	3,1	0,00310	0,000073	0,000
від СП5 до 70	58,604	4,0	0,00194	0,000070	0,080
від СП5 до 36	13,114	6,5	0,00310	0,000073	0,010
від 36 до 63	14,711	9,1	0,00310	0,000073	0,018

Місце положення кабелю	I_m , А	l , м	$r_{уд}$, Ом/м	$x_{уд}$, Ом/м	ΔP , кВт
від СП5 до 64	8,646	13,4	0,00310	0,000073	0,009
від 64 до 65	4,414	2,5	0,00310	0,000073	0,000
від СП5 до 37	8,577	12,4	0,00310	0,000073	0,008
від 37 до 66	2,595	5,7	0,00310	0,000073	0,000
від 66 до 67	1,965	3,1	0,00310	0,000073	0,000
від СП5 до 38	9,373	10,6	0,00310	0,000073	0,009
від 38 до 39	6,382	4,3	0,00310	0,000073	0,002
від СП5 до 34	21,821	4,3	0,00310	0,000073	0,019
від 34 до 35	24,072	4,7	0,00310	0,000073	0,025
від СП4 до СП5	68,768	12,2	0,00310	0,000073	0,537
від СП6 до СП5	49,523	29,6	0,00310	0,000073	0,675
від СП6 до 41	21,821	9,1	0,00310	0,000073	0,040
від 41 до 42	22,790	4,3	0,00310	0,000073	0,021
від СП6 до 44	9,373	6,6	0,00310	0,000073	0,005
від 44 до 45	6,382	4,3	0,00310	0,000073	0,002
від СП6 до 42	14,703	10,5	0,00310	0,000073	0,021
від 42 до 43	15,953	4,8	0,00310	0,000073	0,011
від СП6 до 47	3,030	7,9	0,00310	0,000073	0,001
від 47 до 46	1,942	3,7	0,00310	0,000073	0,000
від СП6 до 50	4,716	8,3	0,00310	0,000073	0,002
від 50 до 49	4,414	3,7	0,00310	0,000073	0,001
від СП6 до 48	11,769	4,8	0,00310	0,000073	0,006
від СП6 до 52	2,783	6,0	0,00310	0,000073	0,000
від 52 до 51	1,942	3,7	0,00310	0,000073	0,000
від СП1 до ЦТП	21,821	80,0	0,000326	0,0000602	0,037
від СП3 до ЦТП	168,698	64,0	0,000258	0,0000602	1,410
від СП5 до ЦТП	178,904	78,0	0,000258	0,0000602	1,932
Разом					8,638 кВт

Втрати напруги в цеховій розподільній мережі

Втрати напруги в кабельних лініях знаходимо за формулою:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_{уд} \cdot \cos \varphi + x_{уд} \cdot \sin \varphi)$$

Втрати напруги в процентах:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100,$$

Втрати напруги для першого варіанту на ЕП складаються з втрат в кабельної лінії до СП і втрат в кабельної лінії від СП до шин підстанції. Втрати напруги для першого варіанту запишемо в таблицю 2.9.

Таблиця 2.9

№ з.п.	Місце положення кабелю	I_m , А	l , м	$\cos \varphi$, в.о.	$\sin \varphi$, в.о.	$r_{уд}$, Ом/м	$x_{уд}$, Ом/м	ΔU , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	від СП1 до 1	38,389	3,1	0,92	0,394	0,00310	0,000073	0,154
2	від 1 до 4	37,697	3,2	0,65	0,760	0,00310	0,000073	0,114
3	від СП1 до 6	26,395	10,6	0,92	0,386	0,00310	0,000073	0,366
4	від 6 до 7	28,981	3,5	0,6	0,800	0,00310	0,000073	0,089

№ з.п.	Місце положення кабелю	I_m , А	l , м	$\cos\varphi$, в.о.	$\sin\varphi$, в.о.	$\Gamma_{уд}$, Ом/м	$X_{уд}$, Ом/м	ΔU , %
5	від СП1 до 68	49,350	19,1	0,88	0,475	0,00194	0,000070	0,748
6	від 68 до 8	28,981	3,6	0,6	0,800	0,00310	0,000073	0,091
7	від СП1 до 5	13,674	13,7	0,5	0,866	0,00310	0,000073	0,137
8	від СП1 до 10	13,564	11,2	0,92	0,386	0,00310	0,000073	0,199
9	від 10 до 9	11,802	3,1	0,6	0,798	0,00310	0,000073	0,032
10	від СП1 до 3	38,389	5,0	0,92	0,394	0,00310	0,000073	0,249
11	від 3 до 2	37,698	5,8	0,65	0,760	0,00310	0,000073	0,206
12	від СП1 до 11	16,410	16,2	0,92	0,386	0,00310	0,000073	0,349
13	від 11 до 12	18,017	3,3	0,6	0,800	0,00310	0,000073	0,052
14	від СП2 до 69	58,604	13,9	0,7	0,714	0,00194	0,000070	0,521
15	від СП2 до 13	21,821	8,1	0,87	0,486	0,00310	0,000073	0,220
16	від 13 до 14	24,072	5,2	0,55	0,835	0,00310	0,000073	0,100
17	від СП2 до 18	2,576	12,2	0,89	0,449	0,00310	0,000073	0,040
18	від 18 до 15	1,965	6,2	0,55	0,835	0,00310	0,000073	0,010
19	від СП2 до 16	9,617	4,9	0,91	0,422	0,00310	0,000073	0,061
20	від 16 до 17	6,790	5,8	0,65	0,760	0,00310	0,000073	0,037
21	від СП2 до 55	22,401	17,0	0,91	0,405	0,00310	0,000073	0,497
22	від 55 до 54	15,366	5,1	0,92	0,394	0,00310	0,000073	0,103
23	від 54 до 53	13,579	5,1	0,65	0,760	0,00310	0,000073	0,065
24	від СП3 до 56	22,406	9,2	0,91	0,406	0,00310	0,000073	0,269
25	від 56 до 57	15,369	5,1	0,92	0,393	0,00310	0,000073	0,103
26	від 57 до 58	13,579	5,1	0,65	0,760	0,00310	0,000073	0,065
27	від СП3 до 19	9,807	12,6	0,94	0,352	0,00310	0,000073	0,165
28	від 19 до 20	14,711	7,9	0,6	0,800	0,00310	0,000073	0,101
29	від СП3 до 22	13,398	12,3	0,92	0,386	0,00310	0,000073	0,217
30	від 22 до 21	14,711	5,7	0,6	0,800	0,00310	0,000073	0,073
31	від СП3 до 23	21,013	19,8	0,87	0,486	0,00310	0,000073	0,521
32	від 23 до 24	17,653	7,7	0,55	0,835	0,00310	0,000073	0,109
33	від СП3 до 59	21,621	11,8	0,5	0,866	0,00310	0,000073	0,187
34	від СП4 до 25	10,926	5,6	0,54	0,840	0,00310	0,000073	0,049
35	від 25 до 26	14,711	7,9	0,6	0,800	0,00310	0,000073	0,101
36	від СП4 до 60	30,123	13,6	0,9	0,431	0,00310	0,000073	0,527
37	від 60 до 61	35,306	5,1	0,55	0,835	0,00310	0,000073	0,145
38	від СП4 до 27	17,794	4,9	0,87	0,486	0,00310	0,000073	0,109
39	від 27 до 28	17,653	5,1	0,55	0,835	0,00310	0,000073	0,072
40	від СП4 до 62	21,621	19,5	0,5	0,866	0,00310	0,000073	0,310
41	від СП4 до 31	6,885	12,3	0,89	0,451	0,00310	0,000073	0,108
42	від 31 до 32	4,716	2,6	0,9	0,439	0,00310	0,000073	0,016
43	від 32 до 33	4,414	2,6	0,6	0,800	0,00310	0,000073	0,010
44	від СП4 до 30	7,355	6,2	0,87	0,486	0,00310	0,000073	0,057
45	від 30 до 29	1,942	3,1	0,5	0,866	0,00310	0,000073	0,004
46	від СП5 до 70	58,604	4,0	0,7	0,714	0,00194	0,000070	0,150
47	від СП5 до 36	13,114	6,5	0,92	0,386	0,00310	0,000073	0,112
48	від 36 до 63	14,711	9,1	0,6	0,800	0,00310	0,000073	0,117
49	від СП5 до 64	8,646	13,4	0,9	0,439	0,00310	0,000073	0,149
50	від 64 до 65	4,414	2,5	0,6	0,800	0,00310	0,000073	0,010
51	від СП5 до 37	8,577	12,4	0,41	0,912	0,00310	0,000073	0,065
52	від 37 до 66	2,595	5,7	0,89	0,462	0,00310	0,000073	0,019
53	від 66 до 67	1,965	3,1	0,55	0,835	0,00310	0,000073	0,005
54	від СП5 до 38	9,373	10,6	0,92	0,394	0,00310	0,000073	0,130
55	від 38 до 39	6,382	4,3	0,65	0,760	0,00310	0,000073	0,026
56	від СП5 до 34	21,821	4,3	0,87	0,486	0,00310	0,000073	0,117

№ з.п.	Місце положення кабелю	I_m , А	l , м	$\cos\varphi$, в.о.	$\sin\varphi$, в.о.	$\Gamma_{уд}$, Ом/м	$\chi_{уд}$, Ом/м	ΔU , %
57	від 34 до 35	24,072	4,7	0,55	0,835	0,00310	0,000073	0,091
58	від СП6 до 41	21,821	9,1	0,87	0,486	0,00310	0,000073	0,248
59	від 41 до 42	22,790	4,3	0,6	0,800	0,00310	0,000073	0,086
60	від СП6 до 44	9,373	6,6	0,92	0,394	0,00310	0,000073	0,081
61	від 44 до 45	6,382	4,3	0,65	0,760	0,00310	0,000073	0,026
62	від СП6 до 42	14,703	10,5	0,92	0,386	0,00310	0,000073	0,203
63	від 42 до 43	15,953	4,8	0,6	0,800	0,00310	0,000073	0,067
64	від СП6 до 47	3,030	7,9	0,4	0,918	0,00310	0,000073	0,014
65	від 47 до 46	1,942	3,7	0,5	0,866	0,00310	0,000073	0,005
66	від СП6 до 50	4,716	8,3	0,9	0,439	0,00310	0,000073	0,050
67	від 50 до 49	4,414	3,7	0,6	0,800	0,00310	0,000073	0,014
68	від СП6 до 48	11,769	4,8	0,6	0,800	0,00310	0,000073	0,049
69	від СП6 до 52	2,783	6,0	0,9	0,431	0,00310	0,000073	0,022
70	від 52 до 51	1,942	3,7	0,5	0,866	0,00310	0,000073	0,005
71	від СП1 до ЦТП	153,382	80,0	0,65	0,758	0,000326	0,0000602	1,444
72	від СП2 до ЦТП	97,253	64,0	0,66	0,752	0,00062	0,0000625	1,293
73	від СП3 до ЦТП	65,669	73,5	0,59	0,808	0,00194	0,0000625	2,624
74	від СП4 до ЦТП	68,767	67,0	0,55	0,832	0,00194	0,0000625	2,367
75	від СП5 до ЦТП	94,605	78,0	0,71	0,706	0,00062	0,0000625	1,625
76	від СП6 до ЦТП	49,523	107,5	0,58	0,813	0,00194	0,000070	2,882

Втрати напруги для другого варіанту запишемо в таблицю 2.10.

Таблиця 2.10

№ з.п.	Місце положення кабелю	I_m , А	l , м	$\cos\varphi$, в.о.	$\sin\varphi$, в.о.	$\Gamma_{уд}$, Ом/м	$\chi_{уд}$, Ом/м	ΔU , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	від СП1 до 1	38,389	3,1	0,919	0,394	0,00310	0,000073	0,154
2	від 1 до 4	37,697	3,2	0,650	0,760	0,00310	0,000073	0,114
3	від СП1 до 6	26,395	10,6	0,922	0,386	0,00310	0,000073	0,366
4	від 6 до 7	28,981	3,5	0,600	0,800	0,00310	0,000073	0,089
5	від СП1 до 68	49,350	19,1	0,880	0,475	0,00194	0,000070	0,748
6	від 68 до 8	28,981	3,6	0,600	0,800	0,00310	0,000073	0,091
7	від СП1 до 5	13,674	13,7	0,500	0,866	0,00310	0,000073	0,137
8	від СП1 до 10	13,564	11,2	0,922	0,386	0,00310	0,000073	0,199
9	від 10 до 9	11,802	3,1	0,603	0,798	0,00310	0,000073	0,032
10	від СП1 до 3	38,389	5,0	0,919	0,394	0,00310	0,000073	0,249
11	від 3 до 2	37,698	5,8	0,650	0,760	0,00310	0,000073	0,206
12	від СП1 до 11	16,410	16,2	0,922	0,386	0,00310	0,000073	0,349
13	від 11 до 12	18,017	3,3	0,600	0,800	0,00310	0,000073	0,052
14	від СП2 до 56	22,406	9,2	0,914	0,406	0,00310	0,000073	0,269
15	від 56 до 57	15,369	5,1	0,919	0,393	0,00310	0,000073	0,103
16	від 57 до 58	13,579	5,1	0,650	0,760	0,00310	0,000073	0,065
17	від СП2 до 19	9,807	12,6	0,936	0,352	0,00310	0,000073	0,165
18	від 19 до 20	14,711	7,9	0,600	0,800	0,00310	0,000073	0,101
19	від СП2 до 22	13,398	12,3	0,922	0,386	0,00310	0,000073	0,217
20	від 22 до 21	14,711	5,7	0,600	0,800	0,00310	0,000073	0,073
21	від СП2 до 23	21,013	19,8	0,874	0,486	0,00310	0,000073	0,521
22	від 23 до 24	17,653	7,7	0,550	0,835	0,00310	0,000073	0,109
23	від СП2 до 59	21,621	11,8	0,500	0,866	0,00310	0,000073	0,187
24	від СП3 до 69	58,604	13,9	0,700	0,714	0,00194	0,000070	0,521
25	від СП3 до 13	21,821	8,1	0,874	0,486	0,00310	0,000073	0,220

№ з.п.	Місце положення кабелю	Im, А	l, м	cosφ, в.о.	sinφ, в.о.	Гуд, Ом/м	Худ, Ом/м	ΔU, %
26	від 13 до 14	24,072	5,2	0,550	0,835	0,00310	0,000073	0,100
27	від СПЗ до 18	2,576	12,2	0,893	0,449	0,00310	0,000073	0,040
28	від 18 до 15	1,965	6,2	0,550	0,835	0,00310	0,000073	0,010
29	від СПЗ до 16	9,617	4,9	0,907	0,422	0,00310	0,000073	0,061
30	від 16 до 17	6,790	5,8	0,650	0,760	0,00310	0,000073	0,037
31	від СПЗ до 55	22,401	17,0	0,914	0,405	0,00310	0,000073	0,497
32	від 55 до 54	15,366	5,1	0,919	0,394	0,00310	0,000073	0,103
33	від 54 до 53	13,579	5,1	0,650	0,760	0,00310	0,000073	0,065
34	від СП2 до СПЗ	88,727	27,2	0,933	0,360	0,00310	0,000073	3,211
34	від СП4 до 25	10,926	5,1	0,542	0,840	0,00310	0,000073	0,044
35	від 25 до 26	14,711	7,9	0,600	0,800	0,00310	0,000073	0,101
36	від СП4 до 60	30,123	13,6	0,902	0,431	0,00310	0,000073	0,527
37	від 60 до 61	35,306	5,1	0,550	0,835	0,00310	0,000073	0,145
38	від СП4 до 27	17,794	4,9	0,874	0,486	0,00310	0,000073	0,109
39	від 27 до 28	17,653	5,1	0,550	0,835	0,00310	0,000073	0,072
40	від СП4 до 62	21,621	19,5	0,500	0,866	0,00310	0,000073	0,310
41	від СП4 до 31	6,885	12,3	0,892	0,451	0,00310	0,000073	0,108
42	від 31 до 32	4,716	2,6	0,898	0,439	0,00310	0,000073	0,016
43	від 32 до 33	4,414	2,6	0,600	0,800	0,00310	0,000073	0,010
44	від СП4 до 30	7,355	6,2	0,874	0,486	0,00310	0,000073	0,057
45	від 30 до 29	1,942	3,1	0,500	0,866	0,00310	0,000073	0,004
46	від СП5 до 70	58,604	4,0	0,700	0,714	0,00194	0,000070	0,150
47	від СП5 до 36	13,114	6,5	0,922	0,386	0,00310	0,000073	0,112
48	від 36 до 63	14,711	9,1	0,600	0,800	0,00310	0,000073	0,117
49	від СП5 до 64	8,646	13,4	0,898	0,439	0,00310	0,000073	0,149
50	від 64 до 65	4,414	2,5	0,600	0,800	0,00310	0,000073	0,010
51	від СП5 до 37	8,577	12,4	0,410	0,912	0,00310	0,000073	0,065
52	від 37 до 66	2,595	5,7	0,887	0,462	0,00310	0,000073	0,019
53	від 66 до 67	1,965	3,1	0,550	0,835	0,00310	0,000073	0,005
54	від СП5 до 38	9,373	10,6	0,919	0,394	0,00310	0,000073	0,130
55	від 38 до 39	6,382	4,3	0,650	0,760	0,00310	0,000073	0,026
56	від СП5 до 34	21,821	4,3	0,874	0,486	0,00310	0,000073	0,117
57	від 34 до 35	24,072	4,7	0,550	0,835	0,00310	0,000073	0,091
34	від СП4 до СП5	68,768	12,2	0,853	0,522	0,00310	0,000073	1,026
34	від СП6 до СП5	49,523	29,6	0,870	0,494	0,00310	0,000073	1,825
58	від СП6 до 41	21,821	9,1	0,874	0,486	0,00310	0,000073	0,248
59	від 41 до 42	22,790	4,3	0,600	0,800	0,00310	0,000073	0,086
60	від СП6 до 44	9,373	6,6	0,919	0,394	0,00310	0,000073	0,081
61	від 44 до 45	6,382	4,3	0,650	0,760	0,00310	0,000073	0,026
62	від СП6 до 42	14,703	10,5	0,922	0,386	0,00310	0,000073	0,203
63	від 42 до 43	15,953	4,8	0,600	0,800	0,00310	0,000073	0,067
64	від СП6 до 47	3,030	7,9	0,396	0,918	0,00310	0,000073	0,014
65	від 47 до 46	1,942	3,7	0,500	0,866	0,00310	0,000073	0,005
66	від СП6 до 50	4,716	8,3	0,898	0,439	0,00310	0,000073	0,050
67	від 50 до 49	4,414	3,7	0,600	0,800	0,00310	0,000073	0,014
68	від СП6 до 48	11,769	4,8	0,600	0,800	0,00310	0,000073	0,049
69	від СП6 до 52	2,783	6,0	0,902	0,431	0,00310	0,000073	0,022
70	від 52 до 51	1,942	3,7	0,500	0,866	0,00310	0,000073	0,005
71	від СП1 до ЦТП	21,821	80,0	0,550	0,835	0,000326	0,0000602	0,183
72	від СПЗ до ЦТП	168,698	64,0	0,636	0,772	0,000258	0,0000602	1,036
73	від СП5 до ЦТП	178,904	78,0	0,657	0,754	0,000258	0,0000602	1,366

2.3. Вибір обладнання на стороні ВН

Виберемо кабелі від трансформаторів до підстанції

Розрахунковий струм:

$$I_m = \frac{S_m}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{726}{\sqrt{3} \cdot 10} = 41,92 \text{ А.}$$

Вибираємо кабель АСБ 3х16:

Довжина кабелю $l = 600$ м. Вартість кабелю 121,4 грн/м.

Вибір вимикачів на 10 кВ:

Варіант перший (однотрансформаторна підстанція): $I_p = 41,92$ А.

Вибираємо вакуумний вимикач ВВТЭ-М-10-31,5/630.

Вартість вимикача 86841,17 грн.

Варіант другий (двохтрансформаторна підстанція): $I_p = 20,96$ А.

Вибираємо вакуумні вимикачі ВВТЭ-М-10-31,5/630.

Вартість двох вимикачів 173682,34 грн.

2.4. Вибір варіанту схеми системи електропостачання цеху

При проектуванні електричних мереж, призначених для живлення споживачів I і II категорій, схеми електропостачання вибираються, як правило, на основі техніко-економічного порівняння варіантів за приведеними витратами, в які включають народногосподарський збиток від перерв в електропостачанні.

Метою техніко-економічних розрахунків є визначення оптимального варіанта схеми, параметрів електромережі і її елементів.

Найбільш економічний варіант електроустановки вимагає найменшого значення повних приведених витрат:

$$Z_i = E_H \cdot K_i + I_i, \quad (2.12)$$

де K – одноразові капітальні вкладення:

$$K = K_{уд.КЛ} \cdot l_{КЛ} + K_{уд.СП} \cdot n_{СП} + K_{удШП} \cdot l_{ШП} + K_{удАВ} \cdot n_{АВ} + K_{удПР} \cdot n_{ПР}, \quad (2.13)$$

де $K_{уд.}$ - ціна одного метра кабельної лінії (КЛ), шинопровода (ШП) або ціна одного вимикача, запобіжника, силового пункту і т.д., грн/м (грн/од); l -

довжина кабельної лінії, шинопровода, м; n - кількість вимикачів, запобіжників і т.д.; E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, (1/рік); $E_n = 0,12$; B - річні витрати виробництва, грн / рік.

Щорічні витрати визначаються за формулою:

$$B = B_{кл} + B_{a.op} + B_n; \quad (2.14)$$

де $B_{кл}$ и $B_{a.op}$ - витрати на поточний ремонт та амортизацію для кабельних ліній та іншого електроустаткування відповідно; B_n - вартість втрат електроенергії, грн.

Витрати для кабельних ліній визначаються за формулою:

$$B_{кл} = \frac{O_a + O_o + O_p}{100} \cdot K_{кл}; \quad (2.15)$$

де O_a - відрахування на амортизацію; O_o - відрахування на обслуговування; O_p - відрахування на ремонт.

Для решти електрообладнання формула аналогічна.

Вартість втрат електроенергії визначається за формулою:

$$B_n = \beta \cdot \Delta W_{рік}; \quad (2.16)$$

де $\beta = 6,5$ - вартість одного кіловата на годину втрат е/е, грн/кВт · рік.

Витрати на амортизацію, обслуговування та ремонт, грн/рік.

$$B_{a.op} = \frac{a \cdot K}{100}, \quad (2.17)$$

де a - загальні норми відрахувань від капіталовкладень для електроустаткування.

Втрати електроенергії в електроустановці в рік, кВт год;

$$\Delta W_{рік} = \Delta P_{max} \cdot \left(0,124 + \frac{T_{нб}}{10000}\right)^2 \cdot 8760, \quad (2.18)$$

де $T_{нб}$ - час найбільшого навантаження, год; $T_{нб} = 4000$ рік; ΔP_{max} - максимальні втрати, кВт.

Виконаємо техніко-економічне порівняння для варіантів розподільчої мережі низької сторони.

1. Цехова розподільна мережа (варіант 1)

Результати розрахунку капіталовкладень в електроустановку запишемо в таблицю.

Таблиця 2.11

Найменування	Ціна Куд за од. або за метр, грн	Кількість п, од. або довжина l, м	Капіталовкладення К, грн
Кабелі			
АВВГ 3*10+1*6	16,60	491,31	8155,81
АВВГ 3*16+1*10	18,30	140,46	2570,42
АВВГ 3*25+1*16	49,60	140,50	6968,80
АВВГ 3*50+1*25	69,00	142,00	9798,00
АВВГ 3*95+1*50	107,55	80,00	8604,00
Силові пункти			
ПР11 3056-21У3		6	9222,01
Вимикачі автоматичні			
АЕ-2036ММ-2,5А	288,24	6	1729,41
АЕ-2036ММ-5А	288,24	8	2305,88
АЕ-2036ММ-8А	267,84	5	1339,22
АЕ-2036ММ-10А	267,84	6	1607,06
АЕ-2036ММ-12,5А	267,84	2	535,69
АЕ-2036ММ-16А	267,84	15	4017,65
АЕ-2036ММ-20А	267,84	5	1339,22
АЕ-2036ММ-25А	267,84	11	2946,27
АЕ-2036ММ-31,5А	292,55	4	1170,20
АЕ-2036ММ-40А	292,55	5	1462,75
АЕ-2036ММ-50А	278,43	2	556,86
АЕ-2056М-80А	544,5	4	2178,00
ВА-5135	964,37	3	2893,11
Разом			69400,35

Витрати на амортизацію, обслуговування та ремонт:

$$B_{\text{аоп1}} = \frac{4,3 \cdot 69400,96}{100} = 2984,24 \text{ грн/рік.}$$

Визначимо сумарні втрати енергії в рік, кВт·год:

$$\begin{aligned} \Delta W_{\text{рік1}} &= \Delta P_{\Sigma} \cdot \tau = \Delta P_{\text{max1}} \cdot \left(0,124 + \frac{T_{\text{нб}}}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = \\ &= 11,544 \cdot \left(0,124 + \frac{4000}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 27766,6 \end{aligned}$$

Витрати викликані втратами електроенергії, грн:

$$B_{\text{н1}} = \beta \cdot \Delta W_{\text{рік1}} = 6,5 \cdot 27766,6 = 180482,9.$$

Витрати для кабельних ліній, грн:

$$B_{\text{кл1}} = \frac{10 + 0,6 + 4}{100} \cdot 36097,03 = 5270,16.$$

Повні витрати, грн/рік:

$$B_1 = B_{\text{кл1}} + B_{\text{аоп1}} + B_{\text{н1}} = 5270,16 + 2984,24 + 180482,9 = 188737,20.$$

Тоді повні наведені витрати дорівнюватимуть, грн/рік:

$$Z_{црс1} = B_1 + E_n \cdot K_1 = 188737,20 + 0,12 \cdot 69400,35 = 197065,24 .$$

2. Цехова розподільна мережа (варіант 2)

Результати розрахунку капіталовкладень в електроустановку запишемо в таблицю.

Таблиця 2.12

Найменування	Ціна Куд за од. або за метр, грн	Кількість n, од. або довжина l, м	Капіталовкладення К, грн
Кабелі			
АВВГ 3*10+1*6	16,60	688,32	11426,11
АВВГ 3*16+1*10	18,30	36,96	676,37
АВВГ 3*25+1*16	49,60	69	3422,40
АВВГ 3*95+1*50	107,55	80	8604,00
АВВГ 3*120+1*70	111,55	142	15840,10
Силові пункти			
ПР11 3056-21У3		6	9862,19
Вимикачі автоматичні			
АЕ-2036ММ-2,5А	288,24	6	1729,44
АЕ-2036ММ-5А	288,24	8	2305,92
АЕ-2036ММ-8А	267,84	5	1339,20
АЕ-2036ММ-10А	267,84	6	1607,04
АЕ-2036ММ-12,5А	267,84	2	535,68
АЕ-2036ММ-16А	267,85	15	4017,75
АЕ-2036ММ-20А	267,85	5	1339,25
АЕ-2036ММ-25А	267,85	11	2946,35
АЕ-2036ММ-31,5А	292,55	4	1170,20
АЕ-2036ММ-40А	292,55	5	1462,75
АЕ-2036ММ-50А	278,43	2	556,86
АЕ-2056М-80А	544,5	4	2178,00
ВА-5135	964,37	3	2893,11
Разом			73912,72

Витрати на амортизацію, обслуговування та ремонт, грн/рік:

$$B_{aop2} = \frac{4,3 \cdot 73912,72}{100} = 3178,25 .$$

Визначимо сумарні втрати енергії в рік, кВт·год:

$$\begin{aligned} \Delta W_{рік2} &= \Delta P_{\Sigma} \cdot \tau = \Delta P_{\max 1} \cdot \left(0,124 + \frac{T_{нб}}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = \\ &= 8,638 \cdot \left(0,124 + \frac{4000}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 20776,8 \end{aligned}$$

Витрати викликані втратами електроенергії, грн:

$$B_{n2} = \beta \cdot \Delta W_{рік2} = 6,5 \cdot 20776,8 = 135049,20 .$$

Витрати для кабельних ліній, грн:

$$B_{кл2} = \frac{10 + 0,6 + 4}{100} \cdot 49831,17 = 7275,35.$$

Повні витрати, грн/рік:

$$B_2 = B_{кл2} + B_{аор2} + B_{н2} = 7235,75 + 3178,25 + 30957,5 = 41371,5.$$

Тоді повні наведені витрати дорівнюватимуть, грн/рік:

$$З_{ЦРС2} = B_2 + E_n \cdot K_2 = 41371,5 + 0,12 \cdot 73912,72 = 50241,02.$$

Як цехової трансформаторної підстанції використовуємо комплектні трансформаторні підстанції (КТП).

КТП - має шафи введення високої напруги і низької напруги, силовий масляний трансформатор - один - однострансформаторна, або два - двохтрансформаторна. КТП забезпечуються комутуючими апаратами.

Для варіанту 1 установка однострансформаторної підстанції неможлива через недостатню кількість приєднань (11 шт.) На шинах КТП.

Тому буде прийнятний тільки варіант двохтрансформаторної підстанції.

Тоді приведені витрати будуть рівні:

$$З_1 = З_{ЦРС1} = 197065,24 \text{ грн/рік.}$$

Для варіанту 2 установка двохтрансформаторної підстанції економічно не вигідна, тому цехову трансформаторну підстанцію виконаємо однострансформаторною.

Наведені витрати:

$$З_2 = З_{ЦРС2} = 50241,02 \text{ грн/рік.}$$

З наведених розрахунків можна зробити висновок, що варіант 2 економічно вигідніше, ніж варіант 1, тому розрахунок в дипломній роботі далі ведеться по 2 варіанту.

2.5. Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахунок струмів короткого замикання на стороні ВН трансформатора

Основною причиною порушення нормального режиму роботи системи електропостачання є виникнення КЗ в мережі або в елементах електрообладнання внаслідок пошкодження ізоляції або неправильних дій обслуговуючого персоналу.

Для зменшення негативного впливу, обумовленого виходом з ладу електрообладнання при протіканні струмів КЗ, а також для швидкого відновлення нормального режиму роботи системи електропостачання необхідно правильно визначати струми КЗ і по ним вибирати електрообладнання, захисну апаратуру і засоби обмеження струмів КЗ.

Для розрахунку струмів КЗ складаємо розрахункову схему системи (рис. 2.1.) Електропостачання і на її основі схему заміщення (рис. 2.2.). Виконаємо розрахункову схему і схему заміщення для приймачів СП, для приймачів шинопроводів, для інших приймачів схема буде аналогічна, будуть відрізнятися лише параметри елементів і кількість приєднань.

Опір системи визначаємо по відключаючій здібності вимикача ВВТЭ-М-10-20/630.

Параметри кабельної лінії КЛ:

$$F = 16 \text{ мм}^2, r_{\text{уд}} = 1,94 \text{ Ом / км}, x_{\text{уд}} = 0,113 \text{ Ом / км}, l = 600 \text{ м};$$

$$r_{\text{кл}} = 1,94 \cdot 0,6 = 1,164 \text{ Ом}, x_{\text{кл}} = 0,113 \cdot 0,6 = 0,068 \text{ Ом}.$$

Оскільки розрахунок будемо проводити в відносних одиницях, необхідно задати базисні значення потужності і напруги:

$$S_{\bar{o}} = 630 \text{ кВА}, U_{\bar{o}} = 10 \text{ кВ},$$

$$I_{\bar{o}} = \frac{S_{\bar{o}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{o}}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,4 \text{ А}.$$

Опір системи

$$x_c = \frac{S_{\bar{o}}}{S_{\text{відкл}}} = \frac{0,63}{363,3} = 0,0017 \text{ в.о.},$$

де $S_{\text{відкл}}$ – вимикаюча здатність головного вимикача.

$$S_{\text{відкл}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{ном.відкл}} \cdot U_{\text{ном}} = \sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10,5 = 363,3 \text{ МВА}.$$

Визначимо опору всіх елементів схеми заміщення у відносних одиницях:

$$x_{\text{кл}} = X_{\text{кл}} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2} = 0,068 \cdot \frac{0,63}{10^2} = 0,0004 \text{ в.о.},$$

$$r_{\text{кл}} = R_{\text{кл}} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2} = 1,16 \cdot \frac{0,63}{10^2} = 0,007 \text{ в.о.}$$

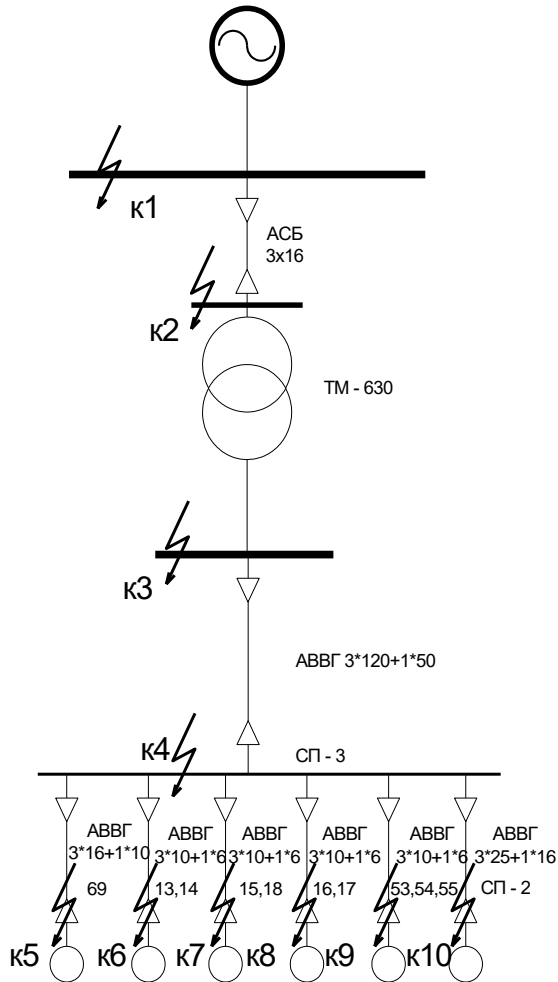


Рисунок 2.1. Розрахункова схема

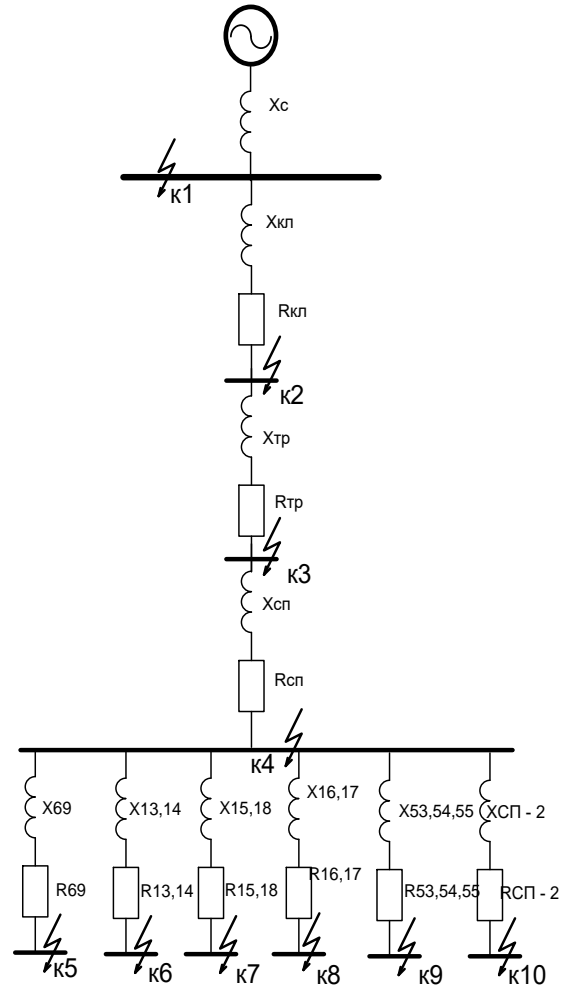


Рисунок 2.2. Схема заміщення

Опір трансформатора:

$$R_{mp} = \frac{\Delta P_{\kappa} \cdot U_{\text{вн}}^2}{S_{\text{ном}}^2} = \frac{7,3 \cdot 10,5^2}{630^2} \cdot 1000 = 2,03 \text{ в.о.}$$

$$X_{mp} = \sqrt{\left(\frac{U_{\kappa}}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_{\kappa}}{S_{\text{ном}}}\right)^2} \cdot \frac{U_{\text{вн}}^2}{S_{\text{ном}}} = \sqrt{\left(\frac{5,5}{100}\right)^2 - \left(\frac{7,3}{630}\right)^2} \cdot \frac{10,5^2}{630} \cdot 1000 = 9,4 \text{ в.о.}$$

$$r_{mp} = R_{mp} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} = 2,03 \cdot \frac{0,63}{10^2} = 0,013 \text{ в.о.}$$

$$x_{mp} = X_{mp} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} = 9,4 \cdot \frac{0,63}{10^2} = 0,06 \text{ в.о.}$$

Розраховуємо значення струму короткого замикання (КЗ) в точках К1-К3.

$$\text{К1: } I_{\kappa 1}^3 = \frac{I_{\delta}}{Z_{\Sigma}} = \frac{36,4}{0,0017} = 19,7 \text{ А;}$$

$$Z_{\Sigma} = x_c = 0,0012 \text{ в.о.}$$

$$\text{K2:} \quad I_{\kappa 2}^3 = \frac{I_{\bar{o}}}{Z_{\Sigma}} = \frac{36,4}{0,0073} = 4980,7 \text{ A,}$$

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{r_{\kappa l}^2 + (x_{\kappa l} + x_c)^2} = \sqrt{0,007^2 + (0,0004 + 0,0017)^2} = 0,0073 \text{ в.о.}$$

$$\text{K3:} \quad I_{\kappa 3}^3 = \frac{I_{\bar{o}}}{Z_{\Sigma}} = \frac{36,4 \cdot 26}{0,065} = 14,8 \text{ кА,}$$

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{(r_{\kappa l} + r_{mp})^2 + (x_{\kappa l} + x_{mp} + x_c)^2} = \\ \sqrt{(0,007 + 0,013)^2 + (0,0004 + 0,06 + 0,0017)^2} = 0,065 \text{ в.о.}$$

Розраховуємо ударні струми в точках КЗ:

$$i_{y\bar{o}} = \sqrt{2} \cdot K_{y\bar{o}} \cdot I_{\kappa 3}^{(3)} \text{ A,}$$

де $K_{y\bar{o}}$ – ударний коефіцієнт визначається за графіками в залежності від співвідношення x/r . Якщо $\frac{x}{r} \leq 0,5$, то $K_{y\bar{o}} = 1$, в інших випадках $K_{y\bar{o}}$ знаходиться за табл.

$$\text{K1: } x/r = 1, K_{y\bar{o}} = 1,04 \quad i_{y\bar{o}} = \sqrt{2} \cdot 1,04 \cdot 21411,8 = 31492,09 \text{ A,}$$

$$\text{K2: } x/r = 0,3 \quad K_{y\bar{o}} = 1,01 \quad i_{y\bar{o}} = \sqrt{2} \cdot 1,01 \cdot 4980,7 = 7114,21 \text{ A,}$$

$$\text{K3: } x/r = 3,105 \quad K_{y\bar{o}} = 1,5 \quad i_{y\bar{o}} = \sqrt{2} \cdot 1,5 \cdot 14,8 = 31,4 \text{ A.}$$

Розрахунок струмів КЗ в кабелях силових пунктів і електроприймачів

Мережі промислових підприємств напругою до 1000 В характеризуються великою протяжністю і наявністю великої кількості комутаційно-захисної апаратури. При напрузі до 1 кВ навіть невеликий опір має суттєвий вплив на струм КЗ. Тому в розрахунках враховуємо всі опори короткозамкненого ланцюга, як індуктивні, так і активні. При відсутності достовірних знань о контактах і їх перехідних опорах рекомендується при розрахунку струмів КЗ в мережах, що живляться трансформаторами потужністю до 1600 кВА, враховувати їх активні опір таким чином: 0,015 Ом – для розподільних пристроїв на станціях і підстанціях; 0,02 Ом – для первинних цехових РП, а також на затискачах апаратів, що живляться радіальними лініями від щитів підстанцій або головних магістралей; 0,025 Ом – для вторинних цехових РП, а також на затискачах

апаратів, що живляться від первинних РП; 0,005 Ом – для апаратури, встановленої безпосередньо біля приймачів електроенергії, які отримують живлення від вторинних РП. Для установок напругою до 1 кВ при розрахунках струмів КЗ вважають, що потужність живильної системи не обмежена і напруга на стороні вищої напруги цехового трансформатора є незмінним.

Розрахунок струмів КЗ на напругу до 1 кВ виконують в іменованих одиницях. Опору елементів системи електропостачання високої напруги призводять до нижчого напруги по формулі

$$x_n = x_v \left(\frac{U_{ном,Н}}{U_{ном,В}} \right)^2,$$

де x_v – опір елемента системи електропостачання високої напруги, наведене до нижчого напруги; $U_{ном,В}$; $U_{ном,Н}$ – відповідно номінальні напруги вищої школи й нижчою ступенів.

При розрахунку мережі 0,4 кВ опір від мережі 10 кВ з відносних одиниць переводимо в іменовані:

$$\begin{aligned} r_{\Sigma 10кВ}^* &= 0,02 \text{ в.о.}, \\ x_{\Sigma 10кВ}^* &= 0,0621 \text{ в.о.}, \\ r_{\Sigma 10кВ} &= r_{\Sigma 10кВ}^* \cdot \frac{U_{\delta}^2}{S_{\delta}} = 0,02 \cdot \frac{10^2}{0,63} = 3,17 \text{ Ом}, \\ x_{\Sigma 10кВ} &= x_{\Sigma 10кВ}^* \cdot \frac{U_{\delta}^2}{S_{\delta}} = 0,0621 \cdot \frac{10^2}{0,63} = 9,857 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Наводимо опір системи електропостачання високої напруги до напруги 0,4кВ:

$$\begin{aligned} x_{\Sigma 10;0,4} &= x_{\Sigma 10} K_m^2 = 3,17 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,046 \text{ Ом}; \\ r_{\Sigma 10;0,4} &= r_{\Sigma 10} K_m^2 = 9,857 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,014 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Для пояснення до таблиці визначимо струм короткого замикання на СП-3.

Довжина кабелю від СП-3 до шин низької напруги ЦТП складає: $L = 64\text{м}$.

Марка кабелю АВВГ 3Н120+1Н70,

$$r_{yd} = 0,258 \text{ Ом} / \text{км}, \quad x_{yd} = 0,0602 \text{ Ом} / \text{км}.$$

Опір до точки КЗ

$$R_{\text{сум}} = \frac{r_{\text{уд}} \cdot L}{1000} + R_{\text{д}} + r_{\text{тр,кл}} = \frac{0,258 \cdot 64}{1000} + 0,02 + 0,014 = 0,051 \text{ Ом},$$

$$X_{\text{сум}} = \frac{x_{\text{уд}} \cdot L}{1000} + x_{\text{тр,кл}} = \frac{0,0602 \cdot 64}{1000} + 0,046 = 0,05 \text{ Ом}.$$

Струм короткого замикання:

$$I_{\text{к}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{сум}}} = \frac{0,38}{1,732 \cdot \sqrt{0,051^2 + 0,05^2}} = 3,07 \text{ кА}.$$

Визначимо струм КЗ від ЕП № 69- вентилятора: де довжина кабелю від приймача до СП-3, $L = 13,9\text{м}$. Марка кабелю АВВГ-3Н16+1Н10,

$$r_{\text{уд}} = 1,94 \text{ Ом/км}, x_{\text{уд}} = 0,070 \text{ Ом/км}, R_{\text{доо}} = 0,005 \text{ Ом}.$$

Опір до точки КЗ

$$R_{\text{сум}} = \frac{r_{\text{уд}} \cdot L}{1000} + R_{\text{д}} + r_{\text{сум,сп}} = \frac{1,94 \cdot 13,9}{1000} + 0,005 + 0,051 = 0,082 \text{ Ом},$$

$$X_{\text{сум}} = \frac{x_{\text{уд}} \cdot L}{1000} + x_{\text{сум,сп}} = \frac{0,07 \cdot 13,9}{1000} + 0,05 = 0,051 \text{ Ом}.$$

Струм короткого замикання:

$$I_{\text{к}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{сум}}} = \frac{0,38}{1,732 \cdot \sqrt{0,082^2 + 0,051^2}} = 2,27 \text{ кА}.$$

Результати розрахунку струмів КЗ на низькій стороні заносимо в таблицю 2.13.

Таблиця 2.13

Наім. ЕП	Довжина кабеля, м	R _{уд} , Ом\м	X _{уд} , Ом\м	R _{доб} , Ом	Сумарний опір		Струм КЗ, кА	Та	Куд	Ударний струм, кА
					R, Ом	X, Ом				
СП - 1										
СП - 1	80	0,000326	0,0000602	0,020	0,060	0,051	2,788	0,846	1,5	5,914
від СП1 до 1	3,1	0,00310	0,000073	0,005	0,075	0,051	2,429	0,685	1	3,434
від 1 до 4	3,2	0,00310	0,000073	0,005	0,089	0,051	2,128	0,573	1	3,009
від СП1 до 6	10,6	0,00310	0,000073	0,005	0,098	0,052	1,984	0,528	1	2,806
від 6 до 7	3,5	0,00310	0,000073	0,005	0,114	0,052	1,757	0,456	1	2,484
від СП1 до 68	19,1	0,00194	0,000070	0,005	0,102	0,052	1,913	0,511	1	2,705
від 68 до 8	3,6	0,00310	0,000073	0,005	0,118	0,052	1,695	0,443	1	2,397
від СП1 до 5	13,7	0,00310	0,000073	0,005	0,107	0,052	1,839	0,482	1	2,600
від СП1 до 10	11,2	0,00310	0,000073	0,005	0,100	0,052	1,955	0,518	1	2,764
від 10 до 9	3,1	0,00310	0,000073	0,005	0,114	0,052	1,749	0,454	1	2,473
від СП1 до 3	5,0	0,00310	0,000073	0,005	0,080	0,051	2,302	0,636	1	3,254
від 3 до 2	5,8	0,00310	0,000073	0,005	0,103	0,052	1,898	0,499	1	2,684
від СП1 до 11	16,2	0,00310	0,000073	0,005	0,115	0,052	1,737	0,452	1	2,456
від 11 до 12	3,3	0,00310	0,000073	0,005	0,130	0,052	1,562	0,401	1	2,209

Наім. ЕП	Довжина кабеля,м	Руд, Ом\м	Худ, Ом\м	Рдоб, Ом	Сумарний опір		Струм КЗ,кА	Та	Куд	Ударний струм, кА
					R, Ом	X, Ом				
СП - 2										
СП - 2	27,2	0,00310	0,000073	0,025	0,169	0,053	1,236	0,312	1	1,748
від СП2 до 56	9,2	0,00310	0,000073	0,005	0,203	0,053	1,046	0,264	1	1,479
від 56 до 57	5,1	0,00310	0,000073	0,005	0,224	0,054	0,954	0,241	1	1,348
від 57 до 58	5,1	0,00310	0,000073	0,005	0,245	0,054	0,876	0,222	1	1,239
від СП2 до 19	12,6	0,00310	0,000073	0,005	0,213	0,054	0,997	0,252	1	1,409
від 19 до 20	7,9	0,00310	0,000073	0,005	0,243	0,054	0,882	0,224	1	1,246
від СП2 до 22	12,3	0,00310	0,000073	0,005	0,212	0,054	1,001	0,253	1	1,415
від 22 до 21	5,7	0,00310	0,000073	0,005	0,235	0,054	0,910	0,230	1	1,286
від СП2 до 23	19,8	0,00310	0,000073	0,005	0,236	0,054	0,907	0,230	1	1,282
від 23 до 24	7,7	0,00310	0,000073	0,005	0,265	0,055	0,812	0,207	1	1,148
від СП2 до 59	11,8	0,00310	0,000073	0,005	0,211	0,054	1,009	0,255	1	1,426
СП - 3										
СП - 3	64	0,000258	0,0000602	0,020	0,051	0,050	3,091	0,987	1,5	6,557
від СП3 до 69	13,9	0,00194	0,000070	0,005	0,082	0,051	2,267	0,617	1,1	3,525
від СП3 до 13	8,1	0,00310	0,000073	0,005	0,081	0,050	2,309	0,626	1	3,265
від 13 до 14	5,2	0,00310	0,000073	0,005	0,102	0,051	1,932	0,500	1	2,732
від СП3 до 18	12,2	0,00310	0,000073	0,005	0,093	0,051	2,067	0,544	1	2,923
від 18 до 15	6,2	0,00310	0,000073	0,005	0,117	0,051	1,712	0,436	1	2,421
від СП3 до 16	4,9	0,00310	0,000073	0,005	0,071	0,050	2,530	0,710	1	3,578
від 16 до 17	5,8	0,00310	0,000073	0,005	0,094	0,051	2,059	0,540	1	2,911
від СП3 до 55	17,0	0,00310	0,000073	0,005	0,108	0,051	1,834	0,472	1	2,593
від 55 до 54	5,1	0,00310	0,000073	0,005	0,129	0,051	1,580	0,399	1	2,234
від 54 до 53	5,1	0,00310	0,000073	0,005	0,150	0,052	1,384	0,346	1	1,957
СП - 4										
СП - 4	12,2	0,00310	0,000073	0,025	0,117	0,052	1,717	0,441	1	2,427
від СП4 до 25	5,1	0,00310	0,000073	0,005	0,138	0,052	1,490	0,377	1	2,107
від 25 до 26	7,9	0,00310	0,000073	0,005	0,167	0,053	1,252	0,314	1	1,771
від СП4 до 60	13,6	0,00310	0,000073	0,005	0,164	0,053	1,274	0,321	1	1,801
від 60 до 61	5,1	0,00310	0,000073	0,005	0,185	0,053	1,141	0,286	1	1,614
від СП4 до 27	4,9	0,00310	0,000073	0,005	0,137	0,052	1,496	0,379	1	2,116
від 27 до 28	5,1	0,00310	0,000073	0,005	0,158	0,052	1,319	0,331	1	1,865
від СП4 до 62	19,5	0,00310	0,000073	0,005	0,182	0,053	1,155	0,291	1	1,633
від СП4 до 31	12,3	0,00310	0,000073	0,005	0,160	0,052	1,302	0,328	1	1,842
від 31 до 32	2,6	0,00310	0,000073	0,005	0,173	0,053	1,212	0,304	1	1,714
від 32 до 33	2,6	0,00310	0,000073	0,005	0,186	0,053	1,134	0,284	1	1,603
від СП4 до 30	6,2	0,00310	0,000073	0,005	0,141	0,052	1,458	0,369	1	2,062
від 30 до 29	3,1	0,00310	0,000073	0,005	0,156	0,052	1,335	0,336	1	1,888
СП - 5										
СП - 5	78	0,000258	0,0000602	0,020	0,054	0,051	2,959	0,937	1,5	6,275
від СП5 до 70	4,0	0,00194	0,000070	0,005	0,067	0,051	2,609	0,762	1,1	4,058
від СП5 до 36	6,5	0,00310	0,000073	0,005	0,079	0,051	2,325	0,645	1	3,288
від 36 до 63	9,1	0,00310	0,000073	0,005	0,112	0,052	1,771	0,461	1	2,505
від СП5 до 64	13,4	0,00310	0,000073	0,005	0,101	0,052	1,939	0,513	1	2,742
від 64 до 65	2,5	0,00310	0,000073	0,005	0,113	0,052	1,759	0,457	1	2,488
від СП5 до 37	12,4	0,00310	0,000073	0,005	0,098	0,052	1,988	0,529	1	2,811
від 37 до 66	5,7	0,00310	0,000073	0,005	0,120	0,052	1,675	0,433	1	2,368
від 66 до 67	3,1	0,00310	0,000073	0,005	0,135	0,052	1,517	0,387	1	2,145
від СП5 до 38	10,6	0,00310	0,000073	0,005	0,092	0,051	2,081	0,560	1	2,943
від 38 до 39	4,3	0,00310	0,000073	0,005	0,110	0,052	1,800	0,469	1	2,546
від СП5 до 34	4,3	0,00310	0,000073	0,005	0,072	0,051	2,476	0,704	1	3,501
від 34 до 35	4,7	0,00310	0,000073	0,005	0,092	0,051	2,082	0,558	1	2,944
СП - 6										
СП - 6	29,6	0,00310	0,000073	0,025	0,171	0,058	1,216	0,339	1	1,720
від СП6 до 41	9,1	0,00310	0,000073	0,005	0,204	0,059	1,033	0,287	1	1,461

Наім. ЕП	Довжина кабеля, м	Руд, Ом\м	Худ, Ом\м	Рдоб, Ом	Сумарний опір		Струм КЗ, кА	Та	Куд	Ударний струм, кА
					R, Ом	X, Ом				
від 41 до 42	4,3	0,00310	0,000073	0,005	0,222	0,059	0,954	0,265	1	1,348
від СП6 до 44	6,6	0,00310	0,000073	0,005	0,196	0,058	1,071	0,297	1	1,515
від 44 до 45	4,3	0,00310	0,000073	0,005	0,215	0,059	0,986	0,273	1	1,394
від СП6 до 42	10,5	0,00310	0,000073	0,005	0,208	0,059	1,013	0,281	1	1,433
від 42 до 43	4,8	0,00310	0,000073	0,005	0,228	0,059	0,930	0,258	1	1,316
від СП6 до 47	7,9	0,00310	0,000073	0,005	0,200	0,058	1,051	0,292	1	1,486
від 47 до 46	3,7	0,00310	0,000073	0,005	0,217	0,059	0,977	0,271	1	1,381
від СП6 до 50	8,3	0,00310	0,000073	0,005	0,202	0,058	1,045	0,290	1	1,478
від 50 до 49	3,7	0,00310	0,000073	0,005	0,218	0,059	0,971	0,269	1	1,374
від СП6 до 48	4,8	0,00310	0,000073	0,005	0,191	0,058	1,100	0,305	1	1,555
від СП6 до 52	6,0	0,00310	0,000073	0,005	0,194	0,058	1,081	0,300	1	1,528
від 52 до 51	3,7	0,00310	0,000073	0,005	0,211	0,059	1,002	0,278	1	1,417

Перевірка основного обладнання мережі

Перевірка вимикача Q1

а) по номінальній напрузі:

$$U_{ном} \geq U_{вст}, \quad (2.19)$$

$$U_{ном} = U_{вст} = 10 \text{ кВ};$$

б) по номінальному тривалому струму:

$$I_{ном} \geq I_{роб}, \quad (2.20)$$

$$I_{ном} = 630 \text{ А} > I_{роб} = 20,96 \text{ А};$$

в) на динамічну стійкість:

$$I_{нс} \geq I_{кз}^3, \quad (2.21)$$

$$i_{нс} \geq i_{уд}, \quad (2.22)$$

де $I_{нс}$ – граничний наскрізний струм, $I_{кз}^3$ – максимальний струм трифазного КЗ, $i_{нс}$ – амплітудне значення граничного наскрізного струму, $i_{уд}$ – ударний струм.

$$I_{нс} = 20 \text{ кА} > I_{кз}^3 = I_{к1}^3 = 19,7 \text{ кА},$$

$$i_{нс} = 52 \text{ кА} > i_{уд} = 31,4 \text{ кА};$$

г) по допустимому струму термічної стійкості:

$$I_t^2 \cdot t \geq I_\infty^2 \cdot t_{np}, \quad (2.23)$$

де I_∞ - граничний струм термічної стійкості,

$$I_t^2 \cdot t = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq I_\infty^2 \cdot t_{np} = 19,7^2 \cdot 2,2 = 853,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

д) по відключаючій здібності вимикача:

$$S_{к,розр} < S_{к,відкл}, \quad (2.24)$$

$$S_{к,розр} = \sqrt{3} U_{ном} \cdot I_{кз} = \sqrt{3} 10 \cdot 19,7 = 341,2 < 350 \text{ МВА}.$$

Перевірка перетинів жил кабелю високої напруги по термічній стійкості струмів КЗ

$$F_{кл} \geq F_{min} = \frac{\sqrt{2} \cdot B_K}{C}, \text{ мм}^2; \quad (2.25)$$

де C – функція, значення якої залежать від виду провідника і номінальної напруги, для розглянутого кабелю $C = 100$.

$$B_K = (I_{кз}^3)^2 \cdot (t_{o,e} + T_{a,c}), \quad (2.26)$$

де $t_{o,e}$ – час відключення ділянки мережі, яке складається з часу відключення вимикача і часу дії релейного захисту, $T_{a,c} = 0,01$ с - постійна часу мережі.

$$B_K = 4,981^2 \cdot (0,12 + 0,1 + 0,01) = 5,71 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$F_{min} = \frac{\sqrt{2} \cdot 5,71}{100} = 0,08 \text{ мм}^2,$$

$F_{кл} = 16 \text{ мм}^2$, тобто умови виконуються.

Перевірка обладнання на 0,4 кВ

На напругу 0,4 кВ захист виконується на автоматичних вимикачах, вбудованих в відгалужувальні коробки шинопровода.

Умови вибору автоматів:

а) по напрузі:

$$U_{ном} \geq U_{мереж}, \quad (2.27)$$

де $U_{ном}$ – номінальна напруга автомата, $U_{мереж} = 380$ В;

б) по струму:

$$I_{ном} \geq I_{роб}, \quad (2.28)$$

де $I_{ном}$ – номінальний струм автомата, $I_{роб}$ – робочий струм відгалуження;

в) по відключаючої здібності:

$$I_{відкл} \geq I_{кз}. \quad (2.29)$$

Умови виконуються.

2.6. Конструктивне виконання цехової мережі та підстанції

Конструктивно ЦТП виконано у вигляді прибудованого до цеху приміщення, у якого однією стіною служить стіна цеху, а сама підстанція розташована поза цехом. На підстанції встановлено комплектну двотрансформаторну підстанцію. На високій стороні комплектної трансформаторної підстанції КТП встановлено вимикач навантаження. Цехова трансформаторна підстанція живиться за кабельною лінією десять кіловольт від головної знижувальної підстанції ГПП.

Внутрішньоцехове електропостачання виконано за схемою: силові пункти - кабелі живлять окремі електроприймачі, - кабель марки АВВГ. Введення на ЦТП здійснюється кабельною перемичкою.

Кабелі прокладено: на скобах по стінах, у трубах - у підлозі. Висота прокладання кабелів по стінах 2 м.

РОЗДІЛ 3. МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ

3.1. Характеристика приміщень і вимоги, що пред'являються до системи електричного освітлення

На промислових підприємствах близько 10% споживаної електроенергії витрачається на електричне освітлення. Правильне виконання освітлювальних установок сприяє раціональному використанню електроенергії, поліпшення якості продукції, що випускається, підвищення продуктивності праці, зменшення кількості аварій і випадків травматизму, зниження стомлюваності робітників.

У світлотехнічному розділі вирішуються наступні завдання: вибирають типи джерел світла і світильників, намічають найбільш доцільні висоти установки світильників і їх розміщення, визначають якісні характеристики освітлювальних установок.

На всіх ділянках цеху встановлюють загальне рівномірне освітлення.

Основним питанням влаштування освітлювальних установок є правильне розташування обраних світильників. Від його рішення залежать економічність, якість освітлення і зручність експлуатації.

Об'єкт являє собою прямокутний токарний цех. Це одноповерхова будівля. Висота стелі основного приміщення становить 10 м, допоміжних приміщень 3 м. Загальна площа об'єкту, що освітлюється становить 1296 м².

Вікна розташовані по всьому периметру будівлі, внаслідок чого створюється достатня природна освітленість. Приміщення, в яких вікна відсутні (приміщення прибирального інвентарю, вхідні тамбури) не є місцем постійного перебування людей і не вимагають природного освітлення.

Отделка основних приміщень виконана світлою фарбою, штукатуркою, підлога вкрита світлим лінолеумом, коефіцієнти відображення: стелі - 50%, стін - 30%, підлоги -10%.

Модернізація токарного цеху передбачає проектування електричного освітлення в основному приміщенні і підсобних приміщень для технологічного обладнання, для технологічних потреб і робочого персоналу, для забезпечення нормальних умов роботи.

В даному цеху передбачені такі приміщення як:

1. склад матеріалів;
2. склад готової продукції;
3. тепловий пункт;
4. інструментна;
5. кімната відпочинку;
6. душова;
7. кабінет майстра;
8. основне приміщення.

План приміщення зображений на рисунку 3.1 і 3.2.



Рисунок 3.1 – План приміщення токарного цеху

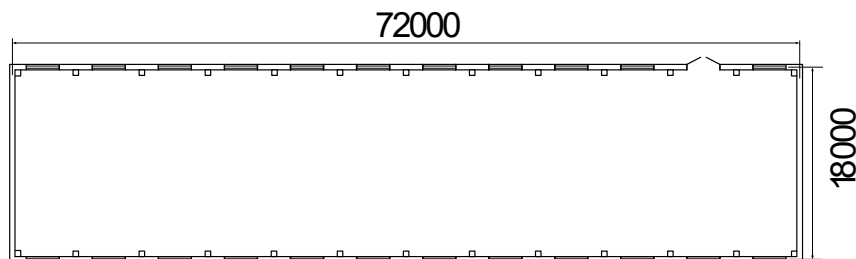


Рисунок 3.2 – Розміри цеху

У таблиці 3.1 описані площі приміщень і норми освітленості необхідні для даних приміщень.

Таблиця 3.1 – Дані по приміщеннях

№	Найменування приміщення	S, м ²	E _{min} , Лк
1	Склад матеріалів	24	75
2	Склад готової продукції	32	50
3	Тепловий пункт	40	150
4	Інструментна	32	150
5	Кімната відпочинку	32	400
6	Душова	32	50
7	Кабінет майстра	54	400
8	Основне приміщення	1050	200

3.2. Вибір системи електричного освітлення, нормованої освітленості, джерела світла

Як і в будь-якій проектній розробці вибір джерел світла здійснюється на підставі вже існуючих, освітлюваних промисловістю джерел світла, причому вибір їх здійснюється на підставі зіставлення достоїнств і недоліків, вимог до висвітлення робочої поверхні, пожежної безпеки і вибухобезпеки, а також вже існуючих рекомендацій та положень.

Оскільки ВРУ живиться від ТП 10/0,4 кВ, то номінальну напругу освітлювальної мережі приймаємо 220/380 В.

Освітлення буває наступних видів:

- робоче освітлення;
- аварійне освітлення (5% від робочого).

Аварійне освітлення застосовується для евакуації в виробничих приміщеннях з числом працюючих не менше 50 чоловік, і в невиробничих приміщеннях не менше 100 чоловік.

На промислових підприємствах в основному виконується робоче та аварійне освітлення. В якості робочого освітлення в токарному цеху використовувалися лампи ДРЛ (дугові ртутні лампи високого тиску).

В даній дипломній роботі буде проводитися заміна всіх світильників в приміщеннях на світлодіодні світильники.

Живлення освітлювальних установок, мережі і силовий проводиться від трансформаторної підстанції (ТП). ВРУ живиться від ТП 10/0,4, по радіальній схемою кабелем, довжиною 150 м, прокладеним в землі. Освітлювальна мережа напругою 380/220В. Коефіцієнт потужності $\cos\varphi = 0,86$. Коефіцієнт завантаження трансформатора $\beta_T = 0,87$.

З урахуванням вищесказаного, для допоміжних приміщень вибираємо джерела світла, наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Джерела світла для допоміжних приміщень

№	Найменування приміщення	Джерела
1	Склад матеріалів	Світлодіодний світильник
2	Склад готової продукції	Світлодіодний світильник
3	Тепловий пункт	Світлодіодний світильник
4	Інструментна	Світлодіодний світильник
5	Кімната відпочинку	Світлодіодний світильник
6	Душова	Світлодіодний світильник
7	Кабінет майстра	Світлодіодний світильник
8	Основне приміщення	Світлодіодний світильник

3.3. Вибір приладів електричного освітлення і їх розташування в плані приміщення

Величина нормованої освітленості є одним з основних вихідних даних, що визначають встановлену потужність джерела світла. Освітлення робочих місць нормується і приводиться в довідниках. Норми встановлюють найменшу освітленість маючи на увазі, що вона повинна мати місце в найгірших точках освітленість поверхні перед очисткою світильників.

Величина нормованої освітленості залежить від розмірів об'єктів, коефіцієнта відображення статі. Вибір освітленості в практичних умовах спрощується наявністю галузевих норм, в яких наводяться значення освітленості для основних виробничих операцій даної галузі промисловості.

При проектуванні освітлювальної установки в розрахунок вводиться коефіцієнт запасу, що враховує зниження світлового потоку джерела світла внаслідок його старіння, а також зниження ККД світильника в результаті забруднення ламп, освітлювальної арматури і огорожувальної поверхні освітлюваного приміщення.

Значення коефіцієнтів запасу наведені в довідниках в залежності від типу світильників, лампи, а також приміщень, в яких розташовані джерела світла. Результати вибору коефіцієнтів запасу зведений в таблиці 3.2.

Одним з умовних питань, що вирішуються при проектуванні освітлювальної установки, від якої залежить не тільки її економічність, але і надійність роботи, є вибір типу світильників.

Тип світильника визначається:

1. умовами навколишнього середовища;
2. вимогами до характеру світлорозподілу;
3. економічною доцільністю.

Найбільш економічні світильники прямого світлорозподілу, які дозволяють розрізняти дрібні дефекти поверхонь.

При виборі світильників за умовами середовища в сухих, вологих, сирих приміщеннях необхідно враховувати, що в сирих приміщеннях корпус патрона повинен бути виконаний з ізоляційних, вологостійких матеріалів, в жарких приміщеннях всі частини світильника повинні бути з матеріалу необхідної

теплостійкості, в запошених приміщеннях допустимо повністю або частково пилозахищеного виконання.

Норми встановлюють найменшу освітленість, маючи на увазі, що вона повинна мати місце в найгірших точках освітлюваної поверхні.

Згідно з завданням мінімальна освітленість для основного приміщення $E_{min} = 200$ лк.

Норми освітленості для приміщень також дані в завданні і наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Норми освітленості для допоміжних приміщень

№	Найменування приміщення	Освітленість, лк	k_3
1	Склад матеріалів	75	1,3
2	Склад готової продукції	50	1,3
3	Тепловий пункт	150	1,3
4	Інструментна	150	1,3
5	Кімната відпочинку	400	1,3
6	Душова	50	1,3
7	Кабінет майстра	400	1,3
8	Основне приміщення	200	1,3

У даній роботі всі світильники є світлодіодними світильниками виробництва Україна, м Київ, ООО «Альтеко Груп».

Розрахуємо освітленість для основного приміщення методом коефіцієнта використання світлового потоку.

Для даного світильника приймаємо $\lambda_e = 1$. По визначимо:

$$\rho_n = 0,5; \rho_c = 0,3; \rho_p = 0,1.$$

Відстань від джерела до робочої поверхні, м:

$$h = H_{\text{ц}} - h_c - h_p = 10 - 0,8 - 1,2 = 8.$$

Відстань між світильниками, м:

$$L_a = \lambda \cdot h = 1 \cdot 8 = 8.$$

Приймаємо $L_a = 8$ м.

Відстань від ряду до стіни, м: $l_a = 0,5 \cdot 8 = 4$ м, приймаємо $l_a = 4$.

Відстань від крайнього світильника до стіни, м: $l_g = 0,5 \cdot 8 = 4$ м, приймаємо $l_g = 4$ м.

Розрахуємо загальне число ламп в ряду, од:

$$N_a = L_n / L_a = 72 / 8 = 9 .$$

Приймаємо відстані між рядами шість метрів ($L_g = 6$).

За умовою розміщення: $L_a / L_g < 1,5$ м;

$$L_a / L_g = 8 / 6 = 1,33 < 1,5 \text{ – умови виконуються.}$$

Визначимо кількість рядів, од:

$$N_g = B_n / L_g = 18 / 6 = 3 .$$

Визначимо загальну кількість світильників, од:

$$N = N_a \cdot N_g = 9 \cdot 3 = 27 .$$

Вибір типу лампи обумовлений висотою приміщень цеху. Висота приміщень цеху становить 10 метрів. Для виробничих приміщень з точною характеристикою роботи і розмірами об'єкта розрізнення від 0,3 до 1 мм найменша освітленість повинна бути 300 лк.

Вихідними даними на світлотехнічний розрахунок є: довжина цеху – $L_{ц}$, м; ширина цеху – $B_{ц}$, м; висота цеху – $H_{ц}$, м; h_c – висота підвісу світильників, м; h_p – висота робочої поверхні, м; h – відстань від джерела до робочої поверхні, м; h_n – висота підвісу щодо підлоги, м (рис. 3.3).

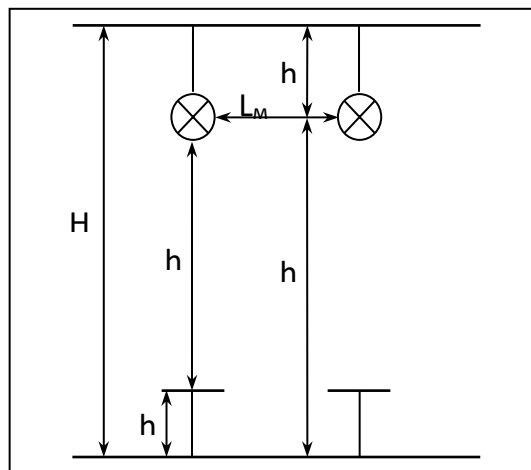


Рисунок – 3.3

$$L_a = 8,8 \text{ м}; L_b = 7,2 \text{ м}; L_o = 3,2 \text{ м} .$$

3.4. Світлотехнічний розрахунок загального рівномірного освітлення. Вибір числа і потужності джерел світла

3.4.1. Розрахунок основного приміщення

Для розрахунку загального рівномірного освітлення основного приміщення скористаємося методом використання світлового потоку. Для розрахунку визначаємо індекс приміщення по формулі:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)},$$

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)} = \frac{86 \cdot 28}{8 \cdot (86 + 28)} = 2,6$$

Коефіцієнти відображення приймаємо

$$\rho_{пол} = 50\%, \quad \rho_{ст} = 30\%, \quad \rho_n = 10\%.$$

Методом лінійної інтерполяції коефіцієнт використання світлового потоку знаходимо за формулою:

$$\eta \equiv 76 + \frac{2,6 - 2}{3 - 2} \cdot (70 - 76) \equiv 72,4\%$$

Світловий потік ламп в кожному світильнику, необхідний для створення заданої мінімальної освітленості визначаємо за формулою:

$$\Phi_{розр} = \frac{E_{min} \cdot Z \cdot k_3 \cdot A \cdot B}{\eta \cdot N},$$

де $E_{min} = 200$ лк - мінімальна освітленість; $Z = 1,1$ - коефіцієнт мінімальної освітленості; $k_3 = 1,3$ - коефіцієнт запасу; $\eta = 72,4\%$ - коефіцієнт використання світлового потоку джерела світла, табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Коефіцієнт використання світлового потоку

Тип КСС	Значення η_{oy} , %											
	При $p_n=0,5$; $p_c=0,5$; $P_p=0,1$ и i_o , i рівному						При $p_n=0,5$; $p_c=0,3$; $P_p=0,1$ и i_o , i рівному					
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
М	31	43	53	63	72	80	23	36	45	56	65	75
Д-1	34	47	54	63	70	77	27	40	48	55	65	73
Д-2	40	48	61	74	82	84	33	42	52	69	75	86
Г-1	44	53	69	77	83	80	41	48	64	76	70	88
Г-2	53	63	76	85	90	94	48	58	72	83	86	93
Г-3	61	68	78	84	88	91	57	65	75	83	86	90
Г-4	65	71	78	81	84	85	62	68	74	81	83	85
К-1	68	77	83	86	89	90	64	73	80	86	88	90
К-2	71	78	87	93	98	99	68	74	84	92	93	99
К-3	72	79	88	94	97	99	68	74	84	92	93	99
Л	30	45	55	65	70	78	24	40	49	60	70	76

$$\Phi_{розр} = \frac{200 \cdot 1,1 \cdot 1,3 \cdot 86 \cdot 28}{27 \cdot 0,682} = 23781 \text{ лм.}$$

Вибираємо світлодіод NICHIA потужністю 200 Вт, світловий потік даного діода становить 24000 лм.

Відхилення знаходимо за формулою:

$$\Delta\Phi = \frac{|24000 - 23781|}{24000} \cdot 100 \text{ ,}$$

$$\Delta\Phi = 0,91 \text{ \% .}$$

Дане значення допустимо, приймаємо світлодіод NICHIA.

Вибираємо світлодіодний промисловий світильник LEDeffect КЕДР LE-0653 200Вт.



Основні переваги світильника:

- економія електроенергії більш ніж в 1,5 рази в порівнянні зі світильниками з лампами ДРЛ 125-400 Вт;
- зміна джерела живлення без демонтажу світильника;
- моментальне включення світильника при низьких температурах;
- не вимагає спеціального обслуговування;
- не вимагає спеціальної утилізації;
- ступінь захисту IP 67;
- термін служби не менше 50 000 годин (20 років).

Світильник КЕДР має три базових модифікації КСС:

- тип "Д" (колірна температура 6500 К (холодний), світловий потік 24200 лм);
- тип "Т" (колірна температура 6500 К (холодний), світловий потік 21000 лм);

- тип "Ш" (колірна температура 6500 К (холодний), світловий потік 21000 лм).

Корпус світильника виконаний з алюмінію, розвинений тепловідвід. Продумана конструкція світильника дозволяє робити заміну джерел живлення без демонтажу світильників. Застосовується для освітлення пішохідних тротуарів, доріг категорії "Б" і "В", парків та скверів, паркувань, АЗС, промислових територій, складів і цехів, залізничних перонів, приміщень з висотою стель більше 10 м.

Характеристики:

Споживана потужність: 200 Вт;

Сумарний світловий потік світильника: 24200 / 21000 лм;

Кольорова температура: 6500 К;

Діаграма розподілу світлового потоку: типу Д, Г Ш;

Напруга живлення: 50 Гц $\pm 5\%$; 175-264В;

Коефіцієнт потужності: 0,9;

Індекс передачі кольору, CRI >75 ;

Тип світлодіода: NICHIA;

Габарити: 512 x225 x80 мм;

Вага: 8 кг;

Робоча температура: от -60 до +50°C;

Вид кліматичного виконання: УХЛ 1;

Клас захисту від ураження електричним струмом: I;

Клас захисту: IP 67;

Ресурс роботи: 50 000 год;

Гарантія: 3 року.

3.4.2. Допоміжне приміщення склад матеріалів

Вихідні дані приміщення:

Світлодіодний світильник з світлодіодом NICHIA; $S = 24 \text{ м}^2$; $E_{min} = 75 \text{ лк}$.

Коефіцієнти відображення $\rho_{пол} = 50\%$, $\rho_{ст} = 30\%$, $\rho_n = 10\%$;

$i_n = 1,25$; $K_3 = 1,3$; $Z = 1,1$.

Даний тип світильника має КСС типу М. По таблиці 3.3 для $i_n = 1,25$ і КСС типу М визначаємо коефіцієнт $\eta = 45\%$. У світильнику застосована лампа NICHIA с $\Phi_d = 3150$ лм.

Визначаємо необхідну кількість світильників:

$$N = \frac{75 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 24}{3150 \cdot 0,45} \approx 2 \text{ од.}$$

Вибираємо світильник LEDeffect КЕДР LE-0652 50Вт.



Характеристики:

Споживана потужність: 50 Вт;

Сумарний світловий лоток світильника: 6100 / 5300 лм;

Кольорова температура: 6500 К;

Діаграма розподілу світлового потоку: типу Д, Г, Ш;

Напруга живлення: 50 Гц $\pm 5\%$; 175-264 В;

Коефіцієнт потужності: 0,9;

Індекс передачі кольору, CRI >75;

Тип світлодіода: NICHIA;

Габарити: 262 x 225 x 80 мм;

Вага: 4 кг;

Робоча температура: від -60 до +50°C;

Вид кліматичного виконання: УХЛ 1;

Клас захисту від ураження електричним струмом: I;

Клас захисту: IP 67;

Ресурс роботи: 50 000 год;

Гарантія: 3 року.

3.4.3. Допоміжне приміщення склад готової продукції

Вихідні дані приміщення:

Світлодіодний світильник з світлодіодом NICHIA;

$$S = 32 \text{ м}^2; E_{\min} = 50 \text{ лк.}$$

Коефіцієнти відображення $\rho_{\text{пол}} = 50\%$, $\rho_{\text{ст}} = 30\%$, $\rho_n = 10\%$;

$$i_n = 1,25; K_3 = 1,3; Z = 1,1.$$

Даний тип світильника має КСС типу М. По таблиці 3.3 для $i_n = 1,25$ і КСС типу М визначаємо коефіцієнт $\eta = 45\%$. У світильнику застосована лампа NICHIA с $\Phi_l = 3150$ лм.

Визначаємо необхідну кількість світильників:

$$N = \frac{50 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 32}{3150 \cdot 0,45} \approx 3 \text{ од.}$$

Вибираємо світильник LEDeffect КЕДР LE-0652 50Вт.

3.4.4. Допоміжне приміщення тепловий пункт

Вихідні дані приміщення:

Світлодіодний світильник з світлодіодом CREE;

$$S = 40 \text{ м}^2; E_{\min} = 50 \text{ лк.}$$

Коефіцієнти відображення $\rho_{\text{пол}} = 50\%$, $\rho_{\text{ст}} = 30\%$, $\rho_n = 10\%$;

$$i_n = 1,25; K_3 = 1,3; Z = 1,1.$$

Даний тип світильника має КСС типу М. По таблиці 3.3 для $i_n = 1,25$ і КСС типу М визначаємо коефіцієнт $\eta = 45\%$. У світильнику застосована лампа CREE с $\Phi_l = 6300$ лм.

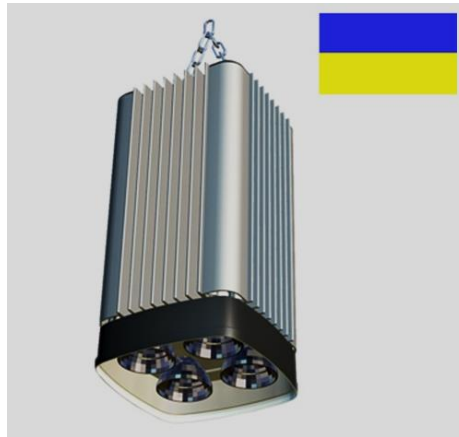
Визначаємо необхідну кількість світильників по формулі:

$$N = \frac{150 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 40}{6300 \cdot 0,45} \approx 3 \text{ од.}$$

Вибираємо світильник Industry-55.

Світлодіодний світильник застосовується для освітлення технологічних зон, приміщень цехів, складських площ та інших типів промислових будівель. Переваги світильника: висока світлова ефективність, надійність, мінімальне

(практично миттєве) час включення, вібростійкість, тривалий термін експлуатації.



Світильник Industry-55 розроблений для заміни підвісних промислових світильників, які використовують екологічно небезпечні ртутні лампи.

Характеристики:

Споживана потужність: 55 Вт;

Сумарний світловий потік світильника: 6500 лм;

Кольорова температура: 300, 4000, 5000, 6000 К;

Напруга живлення: змінне 100-240 В;

Коефіцієнт потужності: $\geq 0,95$;

Тип світлодіода: CREE (США);

Діаграма розподілу світлового потоку: 90°, 60°, 17°;

Габарити: 371 x 258 x 133 мм;

Робоча температура: от -40 до +40°C;

Вага: 3,2 кг;

Клас захисту: IP 65;

Ресурс роботи: мінімум 50 000 год;

Гарантія: 3 року.

3.4.5. Допоміжне приміщення інструмент

Вихідні дані приміщення:

Світлодіодний світильник з світлодіодом CREE;

$$S = 32 \text{ м}^2;$$

$$E_{min} = 150 \text{ лк.}$$

Коефіцієнти відображення $\rho_{пол} = 50\%$, $\rho_{ст} = 30\%$, $\rho_n = 10\%$; $i_n = 1,25$;
 $K_z = 1,3$; $Z = 1,1$.

Даний тип світильника має КСС типу М. По таблиці 3.3 для $i_n = 1,25$ і КСС типу М визначаємо коефіцієнт $\eta = 45\%$. У світильнику застосована лампа CREE с $\Phi_n = 6300$ лм.

Визначаємо необхідну кількість світильників по формулі:

$$N = \frac{150 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 32}{6300 \cdot 0,45} \approx 3 \text{ од.}$$

Вибираємо світильник Industry-55.

3.4.6. Допоміжне приміщення кімната відпочинку

Вихідні дані приміщення:

Світлодіодний світильник з світлодіодом CREE;

$$S = 32 \text{ м}^2; E_{min} = 400 \text{ лк.}$$

Коефіцієнти відображення $\rho_{пол} = 50\%$, $\rho_{ст} = 30\%$, $\rho_n = 10\%$;

$$i_n = 1,25; K_z = 1,3; Z = 1,1.$$

Даний тип світильника має КСС типу М. По таблиці 3.3 для $i_n = 1,25$ і КСС типу М визначаємо коефіцієнт $\eta = 45\%$. У світильнику застосована лампа CREE с $\Phi_n = 6300$ лм.

Визначаємо необхідну кількість світильників:

$$N = \frac{400 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 32}{6300 \cdot 0,45} \approx 6 \text{ од.}$$

Вибираємо світильник Industry-55.

3.4.7. Допоміжне приміщення душова

Вихідні дані приміщення:

Світлодіодний світильник з світлодіодом NICHIA;

$$S = 32 \text{ м}^2; E_{min} = 50 \text{ лк.}$$

Коефіцієнти відображення $\rho_{пол} = 50\%$, $\rho_{ст} = 30\%$, $\rho_n = 10\%$; $i_n = 1,25$;
 $K_3 = 1,3$; $Z = 1,1$.

Даний тип світильника має КСС типу М. По таблиці 3.3 для $i_n = 1,25$ і КСС типу М визначаємо коефіцієнт $\eta = 45\%$. У світильнику застосована лампа NICHIA с $\Phi_{л} = 3150$ лм.

Визначаємо необхідну кількість світильників: $N = \frac{50 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 32}{3150 \cdot 0,45} \approx 3$ од.

Вибираємо світильник LEDeffect КЕДР LE-0652 50Вт.

3.4.8. Допоміжне приміщення кабінет майстра

Вихідні дані приміщення:

Світлодіодний світильник з світлодіодом CREE;

$S = 54$ м²; $E_{min} = 400$ лк.

Коефіцієнти відображення $\rho_{пол} = 50\%$, $\rho_{ст} = 30\%$, $\rho_n = 10\%$; $i_n = 1,25$;
 $K_3 = 1,3$; $Z = 1,1$.

Даний тип світильника має КСС типу М. По таблиці 3.3 для $i_n = 1,25$ і КСС типу М визначаємо коефіцієнт $\eta = 45\%$. У світильнику застосована лампа CREE с $\Phi_{л} = 6300$ лм.

Визначаємо необхідну кількість світильників по формулі (3.11):

$$N = \frac{400 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 54}{6300 \cdot 0,45} \approx 11 \text{ од.}$$

Вибираємо світильник Industry-55.

Результати розрахунків зводимо в світлотехнічну відомість (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 – Світлотехнічна відомість

Найменування приміщення	S, м ²	Тип світильника	Тип лампи	E_{min} , лк	Кількість світильників
Склад матеріалів	24	LEDeffect КЕДР LE-0652	NICHIA	75	2
Склад готової продукції	32	LEDeffect КЕДР LE-0652	NICHIA	50	3
Тепловий пункт	40	Industry-55	CREE	150	3
Інструментна	32	Industry-55	CREE	150	3
Кімната відпочинку	32	Industry-55	CREE	400	6
Душова	32	LEDeffect КЕДР LE-0652	NICHIA	50	3
Кабінет майстра	54	Industry-55	CREE	400	10
Основне приміщення	1050	LEDeffect КЕДР LE-0653 200Вт	NICHIA	200	27

Перевірка:

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_l - \Phi_p}{\Phi_l} \cdot 100\% = \frac{35000 - 41400}{35000} \cdot 100\% = -18\% < 20\% .$$

3.5. Розрахунок аварійного освітлення

Аварійне освітлення повинно влаштовуватися в приміщеннях, де раптове відключення робочого освітлення може привести до тяжких наслідків для людей і технологічного обладнання. При цьому освітленість на робочих поверхнях повинна становити не менше п'яти відсотків освітленості, встановленої для робочого освітлення цих поверхонь при системі загального освітлення. Вибір світильників аварійного освітлення здійснюється аналогічно вибору світильників робочого освітлення.

$$E_n = 15 \text{ лк}, K_{зан} = 1,5, a z = 1,1;$$

$$N = 2(B_u + L_u) / 2,5 = 2(72 + 18) / 2,5 = 18;$$

приймаємо кількість ламп $N=18$;

$$i = \frac{50 \cdot 12}{1,5 \cdot (72 + 18)} = 9,6;$$

звідки приймаємо $\eta = 0,98$.

$$\Phi_n = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta} = \frac{15 \cdot 1,5 \cdot 1296 \cdot 1,1}{18 \cdot 0,98} = 441,25 \text{ лм.}$$

Виходячи з отриманого світлового потоку, вибираємо світильники марки LSI-80-8000-30-IP65 з вбудованим автономним живленням на 3 години.



Світлодіодний прожектор «Lumistec industry» призначений для освітлення всіх типів промислових приміщень, складів, автостоянок, рекламних конструкцій і інших промислових об'єктів. Промислові світлодіодні світильники можуть встановлюватися як всередині будівель, так і на відкритих територіях.

Дані прилади відрізняє висока економічність, швидкий запуск, вібростійкість, відсутність пульсацій світлового потоку і висока надійність при роботі у важких умовах, таких як висока вологість, запиленість, підвищений рівень вібрацій і механічних впливів.

Переваги:

- світлодіоди OSRAM (Німеччина);
- економія електроенергії;
- висока світловіддача світлодіодів 100 лм/Вт;
- відсутність пульсацій світлового потоку;
- широкий вибір КСС;
- зйомний блок живлення;
- можливість заміни світлодіодного модуля;
- екологічна безпека.

Технічні характеристики:

Тип прожектора LSI-80-8000-30-IP65;

КСС концентрована 30°;

Кольорова температура 4700-5300 К (нейтральний білий);

Напруга живлення, В / Частота, Гц 176-264 / 50±5 %;

Енергоспоживання 80 Вт;

Світловий потік 8000 лм;

Світловіддача світлодіодів 100 лм/Вт;

Індекс передачі кольору, Ra >80;

Коефіцієнт потужності 0,99;

Пульсація світлового потоку ≤ 5 %;

ККД блоку живлення 89%;

Джерело світла світлодіоди OSRAM (Німеччина);

Розміри виробу (ДхШхВ)* 310x210x110 мм;

Габаритні розміри (ДхШхВ)* 340x223x130 мм;

Маса світильника, кг 4;

Ресурс роботи світильника, год 50 000 / 100 000;

Ступінь вологозахисту IP65;

Діапазон робочих температур від -60° до +55°С.

Перевірка:

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_l - \Phi_p}{\Phi_l} \cdot 100\% = \frac{370 - 441,25}{370} \cdot 100\% = -19\% < 20\% .$$

Відмінність -19%, що задовольняє умові.

Аварійне освітлення виконано світлодіодними світильниками марки LSI-80-8000-30-IP65 з вбудованим акумулятором. У нормальному режимі світильники аварійного освітлення знаходяться у вимкненому стані. Живлення від ЩАО підходить до вбудованих акумуляторів, які в нормальному режимі знаходяться на стадії підзарядки. При аварійному режимі відбувається збій в електропостачанні, що сприяє переключенню світильників на автономний режим, тобто за рахунок акумуляторів ці світильники три години здатні працювати з повною потужністю, видаючи при цьому повний світловий потік, який створює необхідну освітленість.

3.6. Електротехнічний розрахунок електричного освітлення

Розрахунок електричного навантаження освітлювальної мережі

$$P_{p.o} = P_{вст} \cdot K_c \cdot K_{пра},$$

де $P_{вст}$ – встановлена потужність ламп, $K_c = 0,95$ – коефіцієнт попиту, $K_{пра} = 1,1$ – коефіцієнт що враховує втрати в пускорегулюючої апаратурі.

Розрахунки по робочому і аварійному освітленню зведемо в таблицю 3.5.

Для світильників загального освітлення можна застосувати напругу 220 В. Електропостачання робочого освітлення виконується самостійними лініями від щитів підстанції. При цьому електроенергія від підстанції передається живлять лініями на освітлювальні магістральні пункти або щитки, а від них -

груповими освітлювальними щитками (ГЩО). Живлення джерел світла здійснюється від групових щитків груповими лініями.

Таблиця 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
N,од	P _л ,Вт	P _{уст} ,кВт	K _с ,в.о.	K _{пра} ,в.о.	P _{р.о.} ,кВт	cosφ,в.о.	tgφ, в.о.	Q _{р.о.} ,кВАр
РОБОЧЕ ОСВІТЛЕННЯ								
27	200	18,9	0,95	1,1	19,751	0,6	1,33	26,33
Разом по робочому освітленню					19,751	-	-	26,33
АВАРІЙНЕ ОСВІТЛЕННЯ								
18	30	14,4	0,95	1	13,68	1	0	0
Разом з аварійного освітлення					1368	-	-	0

Встановлюємо освітлювальний щит і так як він один на весь цех, то немає сенсу встановлювати ще один ГЩО, тобто щит освітлення що і буде виконувати ще й роль ГЩО.

Розрахунок освітлювальної мережі

- Робоче освітлення

Розподіл світильників по фазах виконується для більш рівномірного розподілу навантаження по фазах. Це зменшує несиметрію мережі електропостачання цеху, а так же перетин провідників, завдяки рівномірному розподілу по фазах. Навантаження можна вважати рівномірної, якщо моменти навантажень відрізняються незначно.

$$M = \sum P_i \cdot l_i,$$

де P_i потужність лампи, кВт; l_i відстань від джерела живлення (ДЖ) до лампи, м.

$$\sum M_a \approx \sum M_b \approx \sum M_c.$$

Розподіл за фазами:

Щит №1 (ОЩВ – 12)

Розподілимо світильники по фазах для ділянки.

У приміщенні встановлено: дев'ять ламп в ряду; три ряди. Зробимо розподіл світильників по фазах для першого ряду. Розподіл показано на рисунку 3.4.

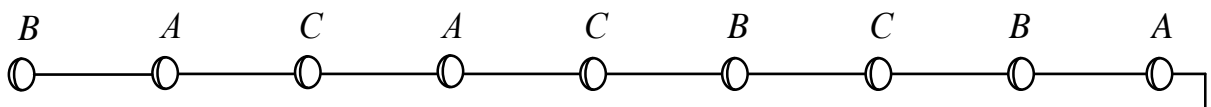


Рисунок 3.4

Визначимо суму моментів, що представляє собою твір потужності на довжину лінії, кВт · м:

$$\Sigma M = \Sigma P \cdot l;$$

$l_o = 8 \text{ м}, P = 0,7 \text{ кВт}, l = 72 \text{ м}, l_c = 4$ відстань від стіни.

Тоді:

$$\Sigma M_a = 0,7 \cdot (66 + 50 + 10) = 88,2;$$

$$\Sigma M_b = 0,4 \cdot (74 + 34 + 18) = 88,2;$$

$$\Sigma M_c = 0,4 \cdot (58 + 42 + 26) = 88,2.$$

З розрахунків моментів бачимо, що навантаження по фазах розподілена рівномірно. Розрахунок розподілу світильників по фазах для інших рядів виконується аналогічно. Розподіл представлено на першому аркуші графічної частини.

Розрахунок освітлювальної мережі проводимо по втраті напруги. Втрата напруги залежить від потужності трансформатора (допустимій втраті напруги) і від його завантаження. Звідки $\Delta U_{\text{дон}} = 5,8 \%$.

При заданих номінальній напрузі мережі і матеріалі провідника втрати напруги на кожній ділянці освітлювальної мережі визначаються за формулою, %:

$$\Delta U_{\text{дон}} = \frac{M}{K_c \cdot S};$$

де

$$S = \frac{\Sigma M + \Sigma \alpha \cdot m}{K_c \cdot \Delta U_{\text{дон}}};$$

де ΣM – сума моментів даного і всіх наступних ділянок з тим же числом проводів в лінії, як і на даній ділянці кВт·м; $\Sigma \alpha \cdot m$ – сума моментів всіх відгалужень, що живляться даною ділянкою і мають інше число проводів в лінії, кВт·м; α – коефіцієнт приведення моментів, що залежить від числа проводів на ділянці і в відгалуженні; K_c – коефіцієнт, значення якого залежить від напруги і матеріалу провідника; $K_c = 44$ для трифазної мережі з нулем, $K_c = 7,4$ для однофазної; S – мінімальний переріз провідника мм².

Наведемо приклад розрахунку для кабелю живлячого ГЩО.

$$S_o = \frac{M_1}{K_c \cdot \Delta U_{\text{дон}}} = \frac{1616}{44 \cdot 5,8} = 6,3 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо перетин 10 мм². На даній ділянці приймаємо кабель марки АВВГ перетином S = 4 x 10 мм². Тоді справжня втрата напруги, яку визначимо

за формулою, дорівнює, %: $\Delta U = \frac{1616}{44 \cdot 10} = 3,6\%.$

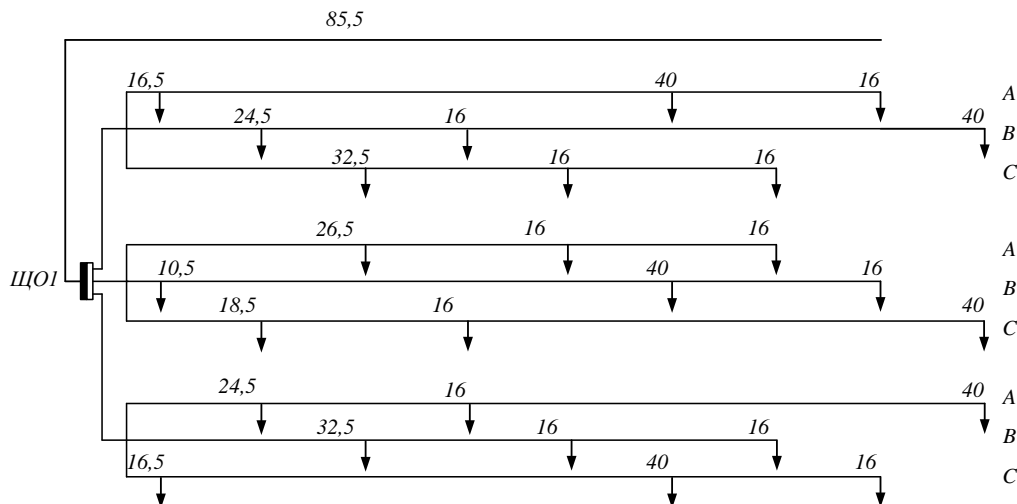


Рисунок 3.5

Визначимо значення струму, А:

$$I_{p.o.} = \frac{P_{p.o.}}{U_{\phi} \cdot \cos \varphi};$$

де U_{ϕ} - номінальна фазна напруга мережі.

Результати зведемо в таблицю 3.6.

За отриманими значеннями струму виберемо необхідний перетин.

Таблиця 3.6

ділянка	Найбільш завантажена фаза	I, А	F, мм ²
Від ЩО1 до приміщення	по фазі А	28,796	6
	по фазі В	28,796	6
	по фазі С	28,796	6

Вибір освітлювального щита проведемо на підставі таблиці 3.7.

Вибираємо освітлювальний щиток ЩО-1 типу ОЩВ - 12, автомат на введенні АЕ2046, на лініях, що відходять АЕ - 1031 - 11.

Ділянки мережі від ЩО до ЦТП виконані кабелем АВВГ. Ділянки мережі від ЩО до ламп виконані проводом АППВ.

Електротехнічний розрахунок аварійного освітлення

Для аварійного освітлення розрахунок аналогічний. Розподіл ламп аварійного освітлення за фазами представлено на першому аркуші графічної частини.

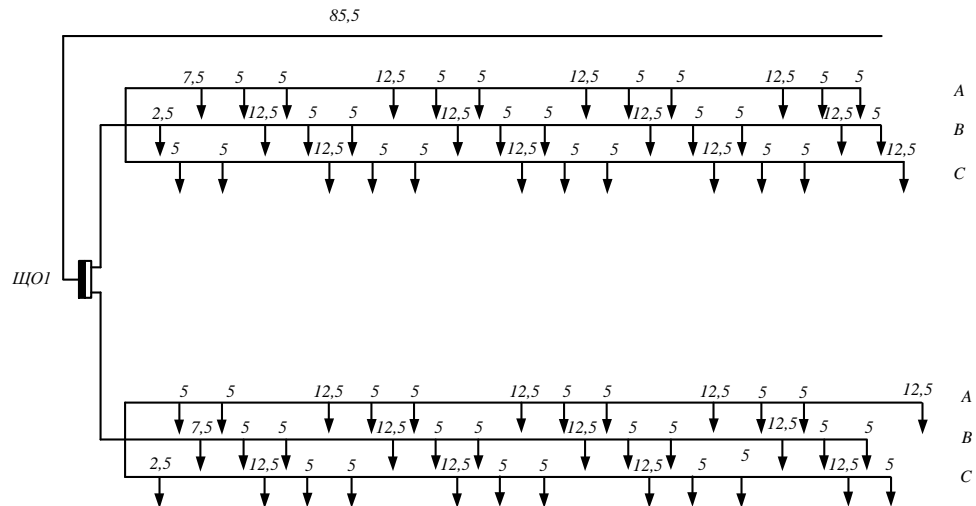


Рисунок 3.6

Розрахунок будемо проводити по найбільш завантаженій фазі в ряду.

Заповнимо таблицю 3.7.

Таблиця 3.7.

Ділянка	$\Delta U_{\text{доп}}, \%$	$\Sigma M, \text{кВт} \cdot \text{м}$	$S_p, \text{мм}^2$	$S, \text{мм}^2$	$\Delta U, \%$
1	2	3	4	5	6
ЦТП–АЩО1	5,8	1231,2	4,8	6	4,6
Перший ряд (верхній)					
АЩО1 – фаза А	1,2	204	0,7	2,5	0,7
АЩО1 – фаза В	1,2	210	0,8	2,5	0,7
АЩО1 – фаза С	1,2	216	0,8	2,5	0,8
Другий ряд (нижній)					
АЩО1 – фаза А	1,2	216	0,8	2,5	0,8
АЩО1 – фаза В	1,2	204	0,7	2,5	0,7
АЩО1 – фаза С	1,2	210	0,8	2,5	0,7

Перевірку по допустимому току роботи не будемо на увазі малих значень струмів.

АЩО: Вибираємо освітлювальний щиток типу ОЩВ - 12, автомат на введенні АЕ2046, на лініях, що відходять АЕ - 1031 - 11.

РОЗДІЛ 4. РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ І АВТОМАТИКА

Вихідні дані:

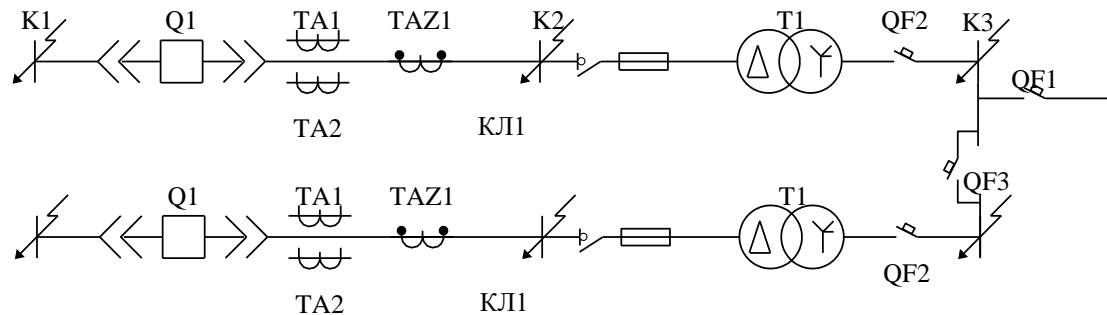


Рисунок 4.1 – Схема ланцюгів захисту кабельних ліній

Довжина захищеної лінії живлення КЛ1: $L = 600$ м;

Номінальна напруга лінії КЛ1: $U_H = 10$ кВ;

Струм трифазного кз в точці К1: $I_{K1} = 19,7$ кА;

Струм трифазного кз в точці К2: $I_{K2} = 4,98$ кА;

Струм трифазного кз в точці К3: $I_{K3} = 14,8$ кА;

Робочий максимальний струм живильної лінії:

$$I_{W1} = 41,92 \text{ А.}$$

4.1. Розрахунок захисних характеристик автоматичного вимикача найбільш завантаженої з ліній, що відходять QF1

На введенні встановлений автомат ВА52-37. Номінальний струм вимикача $I_{НОМ} = 250$ А. Вимикач забезпечений регульованим напівпровідникових розчіплювачем. Розчіплювач дозволяє виконати триступеневу струмовий захист.

Розрахунковий струм розчіплювача, А:

$$I_{розч.розр} = K_{відб} \cdot I_{QF1},$$

де $K_{відб} = 1,1$ – коефіцієнт відбудови для автоматичних вимикачів серії ВА;

$I_{QF1} = 178,91$ А – максимальний струм, що протікає через QF1.

$$I_{розч.розр} = 1,1 \cdot 178,91 = 196,8.$$

Вибираємо номінальний струм розчіплювача з умови:

$$I_{розч.ном} \geq I_{розч.розр}.$$

Приймаємо для ВА52-37 $I_{розч.ном} = 200 \text{ А}$.

Третій ступінь - МСЗ.

Максимальний струмовий захист (МСЗ) не має незалежного регулювання струму спрацьовування. Струм спрацьовування третього ступеня:

$$I_{спр}^{III} = 1,25 \cdot I_{ном};$$

$$I_{спр}^{III} = 1,25 \cdot 250 = 312,5 \text{ А}.$$

Третій ступінь дозволяє змінити нахил характеристики витягів часу МСЗ так, що при струмі $6 \cdot I_{ном}$ можна отримати витримки часу рівні [4;8;16]с.

Прийmemo: $t_{сп}^{III} |_{I=6 \cdot I_{ном}} = 4 \text{ с}$.

Другий ступінь - СВЧ.

Струмове відсічення з витримкою часу (СВЧ) дозволяє встановити кратність до струму СВЧ з ряду [2;3;5;7;10]. Витримка часу другого ступеня може бути встановлена з ряду [0,1;0,2;0,3] с.

Струм спрацьовування другого ступеня:

$$I_{спр}^{II} = K^{II} \cdot I_{пер.дод},$$

де $K^{II} = 1,5$ – коефіцієнт відбудови,

$$I_{спр}^{II} = 1,5 \cdot 338,75 = 508,12.$$

Округлюємо $I_{спр}^{II}$ до стандартного значення, $I_{спр}^{II} = 250 \cdot 2 = 500 \text{ А}$, для забезпечення селективного дії приймаємо кратність $k=2$.

Витримку часу другого ступеня захисту приймаємо

$$t_{спр. QF2}^{II} = 0,1 \text{ с}.$$

Перший ступінь - СВ.

Струм спрацьовування першого ступеня не регулюється. Розчіплювач спрацьовує без витримки часу при струмі 12 кА.

Перевірка чутливості:

Мінімальний струм КЗ в найбільш віддаленій точці КЗ повинен бути більше номінального струму розчіплювача, не менше ніж у три рази:

$$\frac{0,9 \cdot 14800}{250} = 53,28 > 3.$$

4.2. Розрахунок захисних характеристики ввідного автоматичного вимикача QF2

На введенні встановлений автомат ЭО16В. Номінальний струм вимикача $I_{ном} = 1600$ А. Вимикач забезпечений регульованим напівпровідникових розмелювачів. Розчіплювач дозволяє виконати триступеневий струмовий захист.

Розрахунковий струм розчіплювача, А:

$$I_{розч.розр} = K_{відб} \cdot I_{QF2}$$

де $K_{відб} = 1,6$ – коефіцієнт відбудови для автоматичних вимикачів серії «Електрон»; $I_{QF2} = 748,5$ А – максимальний струм, що протікає через QF2.

$$I_{розч.розр} = 1,6 \cdot 748,5 = 1197,6.$$

Вибираємо номінальний струм розчіплювача з умови:

$$I_{розч.ном} \geq I_{розч.розр}$$

Приймаємо для ЭО16В $I_{розч.ном} = 1600$ А.

Третій ступінь - МСЗ.

МСЗ не має незалежного регулювання струму спрацьовування. Струм спрацьовування третього ступеня:

$$I_{спр}^{III} = 1,25 \cdot I_{ном};$$

$$I_{спр}^{III} = 1,25 \cdot 1600 = 2000 \text{ А}.$$

Третій ступінь дозволяє змінити нахил характеристики витягів часу МСЗ так, що при струмі $6 \cdot I_{ном}$ можна отримати витримки часу рівні [4; 8; 16] с.

Прийmemo: $t_{спр}^{III} |_{I=6 \cdot I_{ном}} = 16 \text{ с}.$

Другий ступінь - СВЧ.

СВЧ дозволяє встановити кратність до струму СВЧ з ряду [2;3; 5; 7; 10]. Витримка часу другого ступеня може бути встановлена з ряду [0,1; 0,2; 0,3] с.

Струм спрацьовування другого ступеня:

$$I_{спр}^{II} = K^{II} \cdot I_{пер.дод}.$$

де $K^{II} = 1,5$ – коефіцієнт відбудови,

$$I''_{\text{снр}} = 1,5 \cdot 748,5 = 1122,75 \text{ А.}$$

Округлюємо $I''_{\text{снр}}$ до стандартного значення, $I''_{\text{снр}} = 1600 \cdot 5 = 8000$, для забезпечення селективного дії приймаємо кратність $\kappa = 5$.

Витримку часу другого ступеня захисту приймаємо.

$$t''_{\text{снр. QF2}} = 0,3.$$

Перший ступінь - СВ.

$$I^I_{\text{снр}} = (2,2 \dots 3) \cdot I''_{\text{снр}} = 8000 \cdot 2,5 = 20000 \text{ А.}$$

Перевірка чутливості:

Мінімальний струм КЗ в найбільш віддаленій точці КЗ повинен бути більше номінального струму розчіплювача, не менше ніж у три рази:

$$\frac{0,9 \cdot 14800}{1600} = 8,33 > 3.$$

4.3. Розрахунок захисних характеристики секційного автоматичного вимикача QF3

На введенні встановлений автомат ЭО16В. Номінальний струм вимикача $I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$. Вимикач забезпечений регульованим напівпровідникових розчіплювачем. Розчіплювач дозволяє виконати триступеневий струмовий захист.

Розрахунковий струм розчіплювача, А:

$$I_{\text{розч.розр}} = K_{\text{відб}} \cdot I_{\text{QF3}}$$

де $K_{\text{відб}} = 1,6$ – коефіцієнт відбудови для автоматичних вимикачів серії «Електрон»; $I_{\text{QF3}} = 748,5 / 2 \text{ А}$ – максимальний струм, що протікає через QF3.

$$I_{\text{розч.розр}} = 1,6 \cdot 374,25 = 598,8 \text{ А.}$$

Вибираємо номінальний струм розчіплювача з умови:

$$I_{\text{розч.ном}} \geq I_{\text{розч.розр}}$$

Приймаємо для ЭО6В $I_{\text{розч.ном}} = 1000 \text{ А}$.

Третій ступінь - МСЗ.

МСЗ не має незалежного регулювання струму спрацьовування. Струм спрацьовування третього ступеня:

$$I_{спр}^{III} = 1,25 \cdot I_{ном};$$

$$I_{спр}^{III} = 1,25 \cdot 1000 = 1250 \text{ А}.$$

Третій ступінь дозволяє змінити нахил характеристики витягів часу МСЗ так, що при струмі $6 \cdot I_{ном}$ можна отримати витримки часу рівні [4; 8; 16] с.

Прийmemo: $t_{спр}^{III} |_{I=6 \cdot I_{ном}} = 8 \text{ с}.$

Другий ступінь - СВЧ.

СВЧ дозволяє встановити кратність до струму СВЧ з ряду [2;3; 5; 7; 10]. Витримка часу другого ступеня може бути встановлена з ряду [0,1; 0,2; 0,3] с.

Струм спрацьовування другого ступеня:

$$I_{спр}^{II} = K^{II} \cdot I_{пер.дод},$$

де $K^{II} = 1,5$ – коефіцієнт відбудови,

$$I_{спр}^{II} = 1,5 \cdot 374,25 = 561,4 \text{ А}.$$

Округлюємо $I_{спр}^{II}$ до стандартного значення, $I_{спр}^{II} = 1000 \cdot 5 = 5000 \text{ А}$, для забезпечення селективного дії приймаємо кратність $\kappa = 5$.

Витримку часу другого ступеня захисту приймаємо.

$$t_{спр. QF2}^{II} = 0,2 \text{ с}.$$

Перший ступінь - СВ.

$$I_{спр}^I = (2,2 \dots 3) \cdot I_{спр}^{II} = 5000 \cdot 2,5 = 12500 \text{ А}.$$

Перевірка чутливості:

Мінімальний струм КЗ в найбільш віддаленій точці КЗ повинен бути більше номінального струму розчіплювача, не менше ніж у три рази:

$$\frac{0,9 \cdot 14800}{1000} = 13,32 > 3.$$

4.4. Вибір плавкої вставки запобіжника FU1 на ВН підстанції

Для запобігання спрацьовування запобіжника в нормальному режимі струм плавкої вставки приймаємо з умови:

$$I_{пл.вст} \geq K_3 \cdot I_{W1} = 1,5 \cdot 41,92 = 62,82 \text{ А},$$

де K_3 - коефіцієнт запасу, $K_3 = 1,5 \div 2$, I_{W1} – робочий струм кабельної лінії W1.

Приймаємо плавку вставку з номінальним струмом $I_{пл.вст} = 160 \text{ А}$. Здатність, яка відключає запобіжника 20 кА, що більше 8,297 кА.

Приймаємо запобіжник ПКТ104-10-160-20Т3. Запобіжник кварцовий, для захисту силових трансформаторів і ліній на номінальну напругу 10 кВ, для застосування в районах з помірним кліматом, в закритих приміщеннях з природною вентиляцією.

4.5. Розрахунок захистів кабельної лінії 10кВ

4.5.1. Розрахунок максимального струмового захисту (МСЗ)

Струм спрацьовування МСЗ визначаємо за формулою:

$$I_{спр.МСЗ} = \frac{K_{відб} \cdot K_{сзн} \cdot I_{роб.мах}}{K_{нов}} = \frac{1,6 \cdot 2,5 \cdot 41,92}{0,8} = 209,6 \text{ А},$$

де $K_{відб} = 1,6$ - коефіцієнт відбудови; $K_{сзн}$ - коефіцієнт самозапуску, для промислових підприємств $K_{сзн} = 2 \div 3$; $K_{нов} = 0,8 \div 0,85$ - значення коефіцієнта повернення реле для реле струму.

Коефіцієнт чутливості МСЗ:

$$K_{ч} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{K2}}{2 \cdot I_{спр.МСЗ}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 4980}{2 \cdot 209,6} = 20,58 \geq 1,5 \text{ - в основному режимі,}$$

$$K_{ч} = \frac{0,9 I_{K2}}{I_{спр.МСЗ}} = \frac{0,9 \cdot 563,81}{209,6} = 2,42 \geq 1,2 \text{ - в режимі резервування,}$$

де $I_K = 563,81 \text{ А}$, – струм короткого замикання на шинах низької напруги ТП, приведений до ступеня напруги 10 кВ.

МСЗ задовольняє вимогу чутливості.

Визначимо струм спрацьовування реле струму МСЗ.

Вибираємо трансформатор струму ТПЛК-10 з коефіцієнтом трансформації $n_T = 300 / 5$.

Застосовуємо схему з'єднання трансформаторів струму "неповна зірка", $K_{сх} = 1$ для даної схеми з'єднання. Струм спрацьовування реле МСЗ:

$$I_{cnp} = \frac{K_{CX} \cdot I_{cnp.MC3}}{n_T} = \frac{1 \cdot 209,6}{300/5} = 3,49 \text{ A}.$$

За табл. вибираємо індукційне реле струму РТ-81/2 з номінальним струмом 5А і уставкой струму спрацьовування індукційного елемента $I_{уст} = 4 \text{ A}$.

$$t_{cnp} = t_{запоб} + \Delta t.$$

Витримка часу МСЗ визначається в залежності від часу спрацьовування запобіжника при мінімальному струмі КЗ, і з урахуванням ступеня селективності, прийнятої рівною $\Delta t = 0,5$.

Так як при КЗ на висновках трансформатора час перегорання запобіжника складе соті частки секунди, приймаємо $t_{запоб} = 0$, тоді

$$t_{cnp} = 0,5 \text{ с}.$$

4.5.2. Розрахунок струмового відсічення (СВ)

Відбудовував захист від струму КЗ за трансформатором. $I_{КЗ} = 1286,5$ – струм на стороні НН трансформатора, приведений до сторони ВН.

Струм спрацьовування захисту:

$$I_{cnp.CB} = K_{відс} \cdot I_{КЗ} = 1,6 \cdot 563,81 = 902,1 \text{ A};$$

$K_{відс} = (1,5 \div 1,6)$ – при використанні індукційних реле РТ-80.

Коефіцієнт чутливості СВ:

$$K_{ч} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{K1}}{2 \cdot I_{cnp.CB}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 19700}{2 \cdot 902,1} = 9,46;$$

де $I_{K1} = 19700 \text{ A}$ – струм трифазного короткого замикання на початку лінії.

Струмове відсічення задовольняє вимогу чутливості, якщо $K_{ч} > 2$, в даному випадку умова виконується.

Струм спрацьовування реле СВ, А:

$$I_{cnp} = \frac{K_{CX} \cdot I_{cnp.CB}}{n_T} = \frac{1 \cdot 902,1}{300/5} = 15,04 \text{ A}.$$

Кратність відсічення:

$$K_{CB} = \frac{I_{cnp}}{I_{cnp.MC3}} = \frac{15,04}{4} = 3,76.$$

Кратність струму при спрацьовуванні відсічення для реле РТ81/1, приймаємо кратність 4. Струм спрацьовування електромагнітного елемента реле складе $I_{ем} = 4 \cdot 4 = 16$ А.

Здійснюємо перевірку трансформаторів струму на 10%-ну повну похибку:

$$Z_{розр} \leq Z_{дон.ТТ};$$

$$Z_{розр} = 2 \cdot R_{ПП} + Z_{РЕЛЕ1} + Z_{РЕЛЕ2} + R_{ПЕР},$$

де $R_{ПП} = 0,06$ Ом - опір проводів, $R_{ПЕР} = 0,1$ Ом - перехідний опір,

$$Z_{РЕЛЕ} = \frac{S}{I_{сп}^2} = \frac{10}{15,04^2} = 0,044 \text{ Ом} - \text{опір реле.}$$

Отримаємо:

$$Z_{розр} = 2 \cdot 0,06 + 0,044 + 0,044 + 0,1 = 0,308 \text{ Ом}$$

Обчислюємо значення граничної кратності струму:

$$K_T = \frac{1,1 \cdot I_{сп.відс}}{I_{НОМ}} = \frac{1,1 \cdot 902,1}{300} = 3,31 < 13$$

Граничне значення кратності струму $K_T = 13$.

Визначаємо значення $Z_{дон.ТТ}$ в залежності від граничної кратності струму за графіком граничної кратності трансформаторів струму типу:

ТПЛК–10 класу точності 0,5 ; $Z_{дон.ТТ} = 0,6$ Ом.

Так як $0,6 > 0,308$, то похибка трансформатора струму не перевищує 10 %.

Вибираємо допоміжні реле: проміжне реле серії РП-25, вказівний реле РУ-21.

4.5.3. Захист від замикання на землю кабельної лінії

Захист не повинна спрацьовувати при пошкодженнях на інших приєднаннях мережі, коли по захищається лінії проходить струм, обумовлений ємністю даної лінії. Однак захист повинен надійно спрацьовувати (коефіцієнт чутливості для КЛ $K_{\epsilon} = 1,25$) при пошкодженнях на захищається приєднання. В останньому випадку через трансформатор струму нульової послідовності проходить ємнісний струм всій мережі, за винятком струму обумовленого ємністю даної лінії.

Таким чином, необхідно визначити ємнісний струм мережі, крім лінії W2 і ємнісний струм лінії W2.

Визначимо орієнтовний перетин КЛ W2:

Для кабелю з алюмінієвими жилами при $5000 > T_{max} > 3000$ год.

Економічна щільність струму $j_e = 1,4$.

Визначимо ємнісний струм лінії W1. Для перетину $S_{w1} = 16 \text{ мм}^2$ при напрузі 10кВ ємнісний струм однофазного короткого замикання складе $I_{C0} = 0,55 \text{ А/км}$.

Тоді ємнісний струм лінії W1 визначиться:

$$I_{CW1} = l_{w1} \cdot I_{C0} = 0,6 \cdot 0,55 = 0,33 \text{ А}.$$

Струм спрацьовування захисту:

$$I_{спр.з} = K_з \cdot K_{кид} \cdot I_{CW1} = 1,2 \cdot 2 \cdot 0,33 = 0,792 \text{ А}.$$

Для надійної відбудови від кидка ємнісного струму прийmemo коефіцієнт кидка $K_{кид} = 2$, а коефіцієнт запасу $K_з = 1,2$.

Для виконання захисту використовуємо реле струму РТЗ-51 і трансформатор струму нульової послідовності ТЗЛ У3; так само застосовуємо вказівний реле вказівний реле РУ-21.

РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ І АНАЛІЗ ЯКОСТІ НАПРУГИ ЦЕХІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

5.1. Розрахунок системи компенсації реактивної потужності в цеховій електричній мережі

Одним з основних питань, що вирішуються при проектуванні і експлуатації систем електропостачання промислових підприємств, є питання про компенсації реактивної потужності.

Передача значної кількості реактивної потужності з енергосистеми до споживачів нерациональна з наступних причин: виникають додаткові втрати активної потужності і енергії в усіх елементах системи електропостачання, обумовлені завантаженням їх реактивною потужністю, і додаткові втрати напруги в живильних мережах.

Компенсація реактивної потужності з одночасним поліпшенням якості електроенергії безпосередньо в мережах промислових підприємств є одним з основних напрямків скорочення втрат електроенергії та підвищення ефективності електроустановок підприємства.

Рівняння балансу реактивної потужності записується у вигляді:

$$Q_{ДЖ} + Q_{КВ} = Q_{\Sigma H} + \Delta Q_{\Sigma} + Q_{рез};$$

де $Q_{ДЖ}$ - потужність джерела живлення, $Q_{КВ}$ - потужність компенсуючих пристроїв, $Q_{\Sigma H}$ - реактивна потужність на 4-му рівні, ΔQ_{Σ} - сумарні втрати реактивної потужності по цеху, $Q_{рез}$ - потужність резерву.

$$Q_{\Sigma H} = P_{IV} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{CP.B3B.IV} = 771,975 \cdot 0,93 = 716,4 \text{ кВА};$$

$$Q_{ДЖ} = \alpha \cdot P_{IV},$$

де α – коефіцієнт, що залежить від району і ВН джерела живлення, $\alpha=0,29$; P_{IV} – активна потужність на 4-му рівні.

$$Q_{ДЖ} = 0,29 \cdot 771,975 = 223,87 \text{ кВАр.}$$

$Q_{рез}$ - потужність резерву, становить 5 % від $Q_{\Sigma H}$.

$$Q_{рез} = 0,05 \cdot 716,4 = 35,82 \text{ кВАр.}$$

ΔQ_{Σ} - сумарні втрати у внутрішньоцехових мережах.

$$\Delta Q_{\Sigma} = \Delta Q_{КЛ} + \Delta Q_{ТР};$$

де $\Delta Q_{КЛ}$ - втрати потужності в кабельних лініях, $\Delta Q_{ТР}$ - втрати реактивної потужності в трансформаторі.

$$\Delta Q_{ТР} = \frac{1}{n} \cdot \frac{u_k \%}{100} \cdot \frac{S^2}{S_{ном}} + \frac{n \cdot I_x \% \cdot S_{ном}}{100} = \frac{1}{2} \cdot \frac{5,5}{100} \cdot \frac{726^2}{630} + \frac{1 \cdot 1,5 \cdot 630}{100} = 32,46 \text{ кВАр};$$

$$\Delta Q_{КЛ} = 3 \cdot I_{КЛ}^2 \cdot l \cdot x_{y\partial} = 3 \cdot 20,63^2 \cdot 0,8 \cdot 0,000113 = 0,093 \text{ кВАр};$$

$$\Delta Q_{\Sigma} = 0,093 + 32,46 = 32,553 \text{ кВАр};$$

$$Q_{KV} = Q_{\Sigma H} + \Delta Q_{\Sigma} + Q_{PE3} - Q_{ДЖ} = 716,4 + 32,553 + 35,82 + 223,87 = 560,903 \text{ кВАр}.$$

Оскільки потужність компенсуючих пристроїв вийшла позитивна, то потрібна установка компенсуючих пристроїв: в мережі недолік реактивної потужності.

Встановлюємо на низькій стороні ЦТП дві конденсаторні батареї УКН - 0,38–300 УЗ сумарною потужністю 600 кВАр без установки відключають апаратів.

$$\text{Отримано } \cos\varphi = 0,82.$$

5.2. Аналіз якості напруги цехової мережі і розрахунок відхилення напруги для характерних електроприймачів

Якість напруга залежить від втрат напруги в окремих елементах мережі живлення. Відхилення напруги згідно ГОСТ не повинні виходити за межі:

- 1). $(-2,5 \div +5) \%$ від $U_{ном}$ – для освітлення.
- 2). $(-5 \div +10) \%$ від $U_{ном}$ – на затискачах двигунів.
- 3). $(-5 \div +5) \%$ від $U_{ном}$ – на затискачах інших електроприймачів.

Відхилення напруги на кожній ділянці визначаємо за формулою:

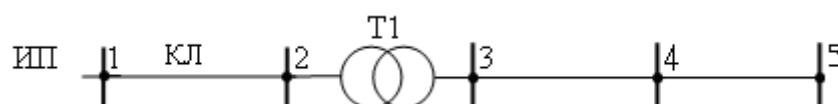
$$V = \left[\frac{(U_{ДЖ} - \Delta U_{ділян}) - U_{ном}}{U_{ном}} \right] \cdot 100 \%,$$

Відхилення напруги будемо розраховувати в максимальному і мінімальному режимі для наймогутнішого і самого віддаленого електроприймача від ЦТП. Оскільки при аварії приймачі III категорії відключаються від мережі, то розраховувати відхилення напруги в після аварійному режимі не потрібно.

5.2.1. Розрахунок максимального режиму

Сторона ВН.

Схема мережі.



Ставимо отпайку на трансформаторі + 2,5%.

$$U_{ДЖ} = 10500 \text{ В},$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{кл}} &= \sqrt{3} \cdot I_{\text{кл}} \cdot l \cdot (r_{\text{уд}} \cdot \cos \varphi + x_{\text{уд}} \cdot \sin \varphi) = \\ &= \sqrt{3} \cdot 20,96 \cdot 600 \cdot (0,00194 \cdot 0,84 + 0,000113 \cdot 0,539) = 36,823 \text{ В} \end{aligned}$$

$$U_2 = U_{ДЖ} - \Delta U_{\text{кл}} = 10500 - 36,823 = 10463,177 \text{ В},$$

$$V_2 = \left[\frac{463,177 - 10000}{10000} \right] \cdot 100 = 4,63 \%$$

Втрати напруги в трансформаторі.

$$\Delta U_{\text{mp}} = \beta \cdot (U_a \cdot \cos \alpha + U_p \cdot \sin \alpha),$$

де U_a , U_p – активна і реактивна складова напруги, β – коефіцієнт завантаження.

$$U_a = \frac{\Delta P_{\kappa}}{S_{\text{ном}}} \cdot 100\% = \frac{7,3}{630} \cdot 100\% = 1,16 \%,$$

$$U_p = \sqrt{U_{\kappa}^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,16^2} = 5,38 \%,$$

$$\beta = \frac{S_{\text{розр}}}{S_{\text{ном}}} = \frac{726}{630} = 1,15,$$

$$\alpha = U_0 / U_{\text{ном}} = 380 / 400 = 0,95,$$

$$\Delta U_{\text{T}} = \alpha \cdot \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi),$$

$$\Delta U_{\text{T}} = 0,95 \cdot 1,152 \cdot (1,16 \cdot 0,733 + 5,38 \cdot 0,68) = 4,93 \%,$$

$$V_3 = V_2 - \Delta U_{\text{mp}} = 4,63 - 4,93 = -0,3 \%,$$

$$U_3 = V_3 \cdot \frac{10000}{100} + 10000 = -0,3 \cdot \frac{10000}{100} + 10000 = 9970 \text{ В}.$$

Наведемо напруги U_3 до сторони 0,4 кВ:

$$U_3^* = \frac{U_3}{K_{\text{mp}}} = 9970 \cdot \frac{0,38}{10} = 378,86 \text{ В}.$$

Вибираємо з попередніх розрахунків приймач з найбільшими втратами напруги:

Це приймач № 69.

Сумарні втрати в кабельних лініях від ЕП до шини підстанції:

$$V_4 = V_3 - \Delta U_{\text{кл}} = -0,3 - 1,334 = -1,634 \%,$$

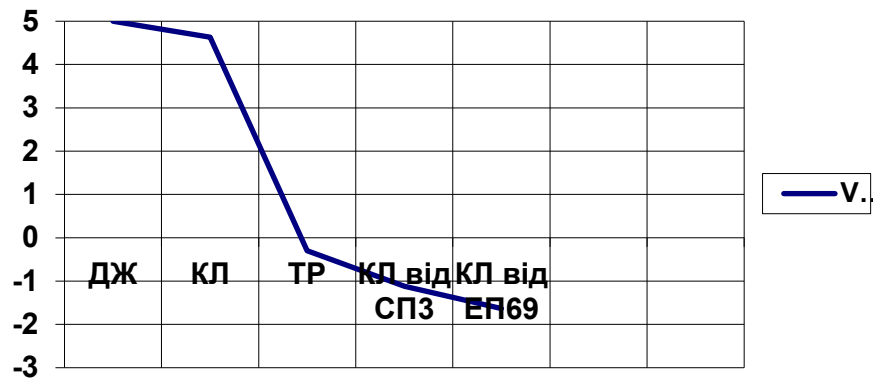


Рисунок 5.1 – Діаграма відхилення напруги для ЕП № 69

Відхилення напруги не перевищують допустимі: $-5\% \leq -1,634\% \leq 5\%$.

5.2.2. Розрахунок мінімального режиму

Сторона ВН.

За річним графіком обчислюємо співвідношення потужностей між максимальним і мінімальним режимом:

$$\frac{P_{\min}}{P_{\max}} = 0,6.$$

Перераховуємо відхилення напруги на стороні ВН.

$$U_{\text{ДЖ}} = 10000 \text{ В.}$$

Оскільки струми і втрати напруги прямо пропорційні потужності, то для будь-яких величин в мінімальному режимі виконуються умови:

$$\Delta U_{\text{кл}} = 0,6 \cdot \Delta U_{\text{кл.max}} = 0,6 \cdot 36,823 = 22,09 \text{ В.}$$

$$U_2 = U_{\text{ДЖ}} - \Delta U_{\text{кл}} = 10000 - 22,09 = 9977,91 \text{ В.}$$

$$V_2 = \left[\frac{9977,91 - 10000}{10000} \right] \cdot 100 = -0,22 \text{ \%}.$$

Втрати напруги в трансформаторі.

$$\Delta U_{\text{тр}} = 0,6 \cdot \Delta U_{\text{тр.max}} = 0,6 \cdot 4,93 = 2,95 \text{ \%},$$

$$V_3 = V_2 - \Delta U_{\text{тр}} = -0,22 - 2,95 = -3,17 \text{ \%},$$

$$U_3 = V_3 \cdot \frac{10000}{100} + 10000 = -3,17 \cdot \frac{10000}{100} + 10000 = 9682,91 \text{ В.}$$

Наведемо напруги U_3 до сторони 0,4 кВ:

$$U_3^* = \frac{U_3}{K_{mp}} = 9682,91 \cdot \frac{0,38}{10} = 367,95 \text{ В.}$$

Приймач з найбільшими втратами напруги:

Приймач №69.

Сумарні втрати від ЕП до шини підстанції:

$$V_4 = V_3 - \Delta U_{кл} = -3,17 - 0,6 \cdot 1,344 = -3,98 \text{ \%}.$$

Відхилення напруги не перевищують допустимі:

$$-5\% \leq -3,98\% \leq 5\% .$$

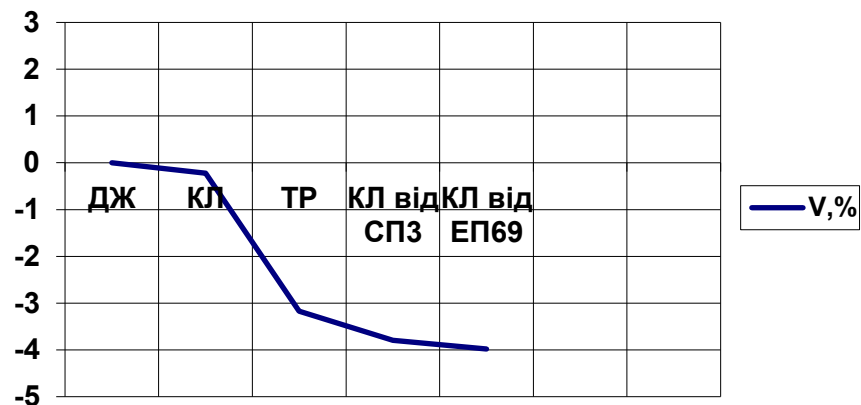


Рисунок 5.2 – Діаграма відхилень напруги для ЕП №69

5.2.3. Розрахунок післяаварійного режиму

Так як до трансформаторної підстанції №2 приєднані тільки приймачі третьої категорії, розрахунок будемо робити тільки для трансформаторної підстанції №1.

Як післяаварійний режим приймаємо вихід з ладу одного трансформатора.

Напругу джерела живлення приймаємо $U_{дж} = 1,1 \cdot U_{ном}$;

$$U_{дж} = 11000 \text{ В,}$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{кл} &= \sqrt{3} \cdot I_{кл} \cdot l \cdot (r_{уд} \cdot \cos \varphi + x_{уд} \cdot \sin \varphi) = \\ &= \sqrt{3} \cdot 41,92 \cdot 0,6 \cdot (1,95 \cdot 0,84 + 0,0675 \cdot 0,539) = 72,86 \text{ В} \end{aligned}$$

$$U_2 = U_{дж} - \Delta U_{кл} = 11000 - 72,86 = 10927,14 \text{ В.}$$

$$V_2 = \left[\frac{10927,14 - 10000}{10000} \right] \cdot 100 = 9,27 \text{ \%}.$$

Втрати напруги в трансформаторі.

$$\Delta U_T = \frac{380}{400} \cdot \frac{726}{630} \cdot (1,82 \cdot 0,597 + 5,19 \cdot 0,802) = 5,75 \%,$$

$$V_3 = V_2 - \Delta U_{mp} = 9,27 - 5,75 = 3,52 \%,$$

$$U_3 = V_3 \cdot \frac{10000}{100} + 10000 = 3,25 \cdot \frac{10000}{100} + 10000 = 10352 \text{ В.}$$

Наведемо напруги U_3 до сторони 0,4 кВ:

$$U_3^* = \frac{U_3}{K_{mp}} = 10352 \cdot \frac{0,38}{10} = 392,35 \text{ В.}$$

Приймач з найбільшими втратами напруги:

Приймач № 69.

Сумарні втрати від ЕП до шини підстанції:

$$V_4 = V_3 - \Delta U_{кл} = 3,52 - 1,344 = 2,176 \%,$$

Відхилення напруги не перевищують допустимі:

$$-5\% \leq 2,176\% \leq 5\% .$$

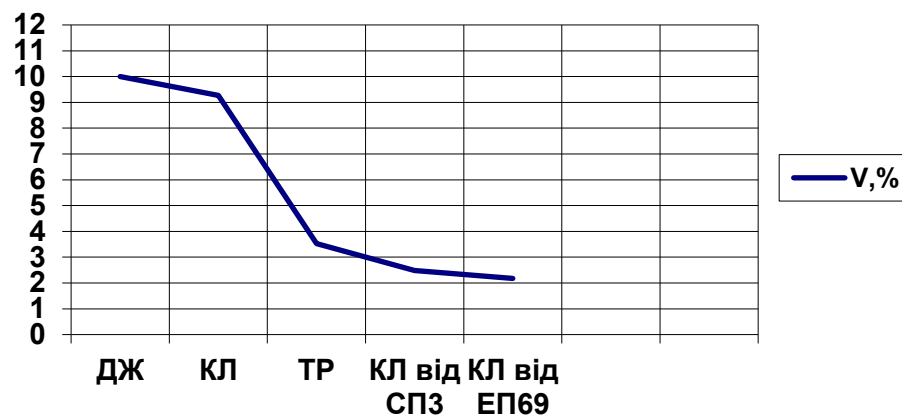


Рисунок 5.3 – Діаграма відхилень напруги для ЕП №69

РОЗДІЛ 6. ЕКСПЛУАТАЦІЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

6.1. Нормування і планування електроспоживання

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

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

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

Планова витрата електроенергії в загальному виді

$$W_{nl} = \omega_{nl} Q_{\phi},$$

де ω_{nl} – планова питома норма витрати електроенергії; Q_{ϕ} – фактичний обсяг продукції.

Економія електроенергії або її перевитрата E (у відносних одиницях) визначається як різниця між плановим установленим споживанням і фактичним W_{ϕ} , визначеним згідно показань приладів обліку електроенергії:

$$E = \frac{W_{nl} - W_{\phi}}{W_{nl}}. \quad (6.2)$$

Фактична питома норма витрати електроенергії

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

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

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

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

6.2. Організація обліку і контролю електроенергії

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

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

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

Юридичні взаємини, що оформлюються договором між енергопостачальною організацією і споживачем, визначаються Правилами користування електричною і тепловою енергією. Відповідно до договору споживач зобов'язаний забезпечити облік електроенергії, регулювати добовий графік навантаження, дотримуючись режиму електроспоживання, не перевищувати питомі норми витрати електроенергії на одиницю продукції. Економії електроенергії сприяє розробка відповідних організаційно-технічних заходів, реалізованих споживачем. При дефіциті електричної потужності й енергії в енергосистемі необхідно на виробництві вводити графіки обмежень і відключень, виконання яких обов'язково для споживача. Показники витрати електроенергії по розрахункових періодах і питомих нормах, графіки споживання активної і реактивної потужності за характерний робочий зимовий і літній дні, витрати за добу і кожні 30 хв під час максимуму навантаження енергосистеми й інших даних фіксуються в звітних формах споживачем і енергопостачальною організацією.

Перевищення споживачем витрати електроенергії, порушення режиму електроспоживання, зміна схем обліку електроенергії, завищення осередненої за 30 хв потужності над встановленою в години максимуму навантаження

енергосистеми й інших порушень надають право енергопостачальній організації знизити, а в окремих випадках і припинити подачу електроенергії.

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

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

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

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

Виходячи з ПУЕ, преїскуранта і досвіду експлуатації приладів розрахункового і технічного обліку можна сформулювати вимоги до складу функцій, що повинні бути реалізовані в системах обліку електроенергії. Крім

функцій обліку електроенергії ряд автоматизованих систем здійснює також і прогнозування графіка навантаження, керування споживачами-регуляторами, формування графічної і табличної звітності. У зв'язку з цим можливості систем доцільно розглядати по групах функцій.

Функції обліку електроенергії:

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

Функції керування електроспоживанням:

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

Функції документування повідомлень:

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

Функції зв'язку з оператором:

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

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

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

Неавтоматизовані методи обліку витрати електроенергії і керування електроспоживанням вимагають значного часу для знімання показань приладів обліку, що приводить до істотної погрішності при визначенні 30-хвилинної сполученої потужності й інших інтегральних значень.

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

6.3. Задача раціонального регулювання добового графіка активного навантаження

Електричне навантаження енергосистем величиною і змінами у часі залежить головним чином від суми навантажень промислових підприємств. Показаний як приклад на рис. 6.1 добовий графік навантаження об'єднаної енергосистеми, має явно виражені ранковий і вечірній максимуми і зону

зниження навантаження на 2-3 год у середині дня і глибокий провал навантаження протягом 6-7 год уночі.

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

Графіки навантаження енергосистем можуть бути істотно вирівняні шляхом регулювання добових графіків навантаження промислових підприємств. Якби графік навантаження (рис. 6.1) був гранично вирівняний, то навантаження енергосистеми в будь-який час доби дорівнювало б її середній величині $P_{сер}$, обчисленої для реального графіка, при цьому максимальне навантаження системи знизилося б на 17% P_{max} . Відповідно знизилася б необхідна потужність електростанцій і капітальні витрати на енергетику. Практично досяжним вважається зниження вечірнього максимуму навантаження на 7-9% P_{max} і ранкового максимуму на 3% за рахунок підвищення навантаження в непікові години на 2-3%. Це забезпечує досить велику економію капітальних витрат в енергосистемі завдяки можливості скорочення введення нових потужностей на електростанціях на величину (рис. 6.1)

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

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

Зниження навантаження підприємств можна одержати за рахунок проведення організаційних і технічних заходів, однак їх виконання зв'язане з додатковими витратами трудових ресурсів і матеріальних засобів. Тому необхідно забезпечити матеріальну зацікавленість підприємств у розвантаженні енергосистеми в години її максимумів.

Цій меті служать двоставочний тариф на електроенергію, його диференціювання за часом доби, а також знижки і надбавки за режим реактивної потужності.

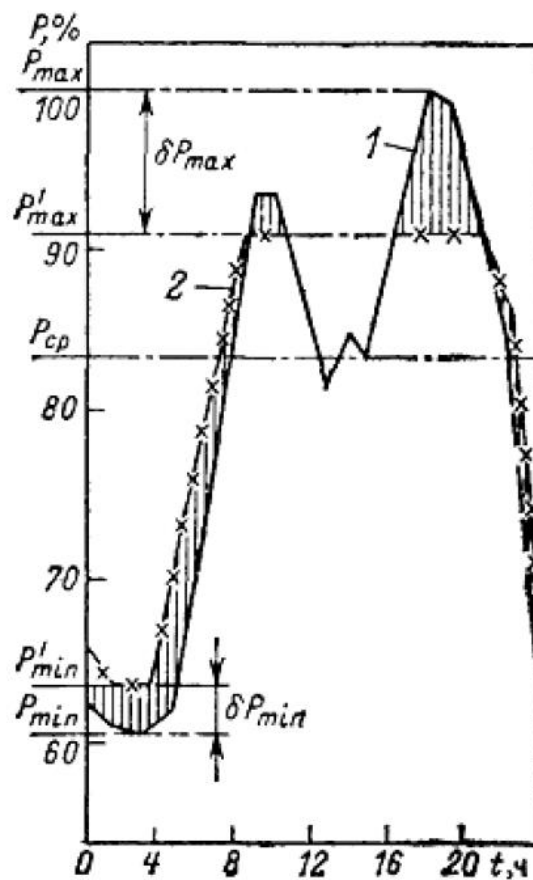


Рисунок 6.1 – Вирівнювання графіка навантаження промислового підприємства: 1 - вихідний графік навантаження; 2 - вирівняний графік навантаження, якому можна одержати, прийнявши заходу для регулювання електроспоживання промислового підприємства

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

З народногосподарських позицій необхідно прагнути до такого регулювання потужності в системах електропостачання, при якому виходить мінімум сумарних витрат на виробництво і споживання електроенергії без

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

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

Організація ремонтів енергоємних електроприймачів у години максимуму навантаження енергосистеми. Ревізії, поточний ремонт, технічне обслуговування заводських електроприймачів варто проводити в години проходження максимуму навантаження енергосистеми. Тривалі ремонти варто планувати на період осінньо-зимового максимуму. Це дозволить розвантажити систему під час найбільшого навантаження, на яку і приходиться розраховувати встановлену потужність електростанцій і районних електричних мереж.

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

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

Зміна ходу технологічного процесу може дати значний ефект регулювання потужності на енергоємних підприємствах. Так, на машинобудівних і приладобудівних заводах можна робити переключення індукційних установок і термопечей у режим підігріву на час максимуму

навантаження. Синхронізацією режиму групи сталеплавильних печей можна пристосувати завантаження печей або інші стадії процесу зі знизеним навантаженням до періоду максимуму навантаження системи.

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

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

$$Z_{eo} - Z_n = Z_{nh},$$

складе народногосподарський ефект Z_{nh} від вирівнювання графіка навантаження.

6.4. Регулювання режиму електроспоживання при дефіциті потужності в енергосистемі

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

Залежність частоти f від небалансу потужності ΔP описується рівнянням відносного руху ротора еквівалентного генератора

$$\Delta P = T_J \frac{d^2 \delta}{dt^2} = T_J \frac{df}{dt}, \quad (6.3)$$

де T_J - постійна інерції еквівалентного генератора; δ - кут вибігу ротора; ΔP - небаланс потужності; $\frac{d^2\delta}{dt^2}$ - прискорення (уповільнення) руху ротора, тобто зміна частоти його обертання в часі.

Звідси одержуємо залежність частоти в системі від небалансу ΔP :

$$\frac{df}{dt} = \frac{\Delta P}{T_J} \quad \text{або} \quad df = \frac{\Delta P}{T_J dt}. \quad (6.4)$$

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

На рис. 6.2 крива 1 показує зниження частоти в часі при відсутності резерву потужності в енергосистемі, крива 2 – при наявності недостатнього резерву, коли баланс потужності наступив при частоті 45,3 Гц. Крива 3 показує зниження частоти і наступне її відновлення після введення достатнього резерву потужності до нормального рівня 50 Гц, а короткочасне зниження частоти обумовлене запізнюванням уведення резерву. Крива 4 показує зміну частоти при дефіциті потужності ΔP автоматичним відключенням частини навантаження системи від дії автоматичного частотного розвантаження (АЧР) $\Delta P_{ачр}$, причому $\Delta P > \Delta P_{ачр}$, тому частота "зависає" на рівні 46,6 Гц.

Відновлення балансу потужності в системі відключенням частини навантаження виробляється або автоматично – дією АЧР, або вручну по спеціальному заздалегідь розробленому аварійному графіку.

Відключення навантаження на підприємствах виробляється чергами. У першу чергу відключаються споживачі III категорії при частоті 48,5-48,0 Гц. При подальшому зниженні частоти спрацьовує наступна черга АЧР, що відключає частину споживачів II категорії, потім 3-я черга і т.д. до відновлення нормальної частоти. Усього від дії АЧР може відключатися до 30–40 % навантаження системи.

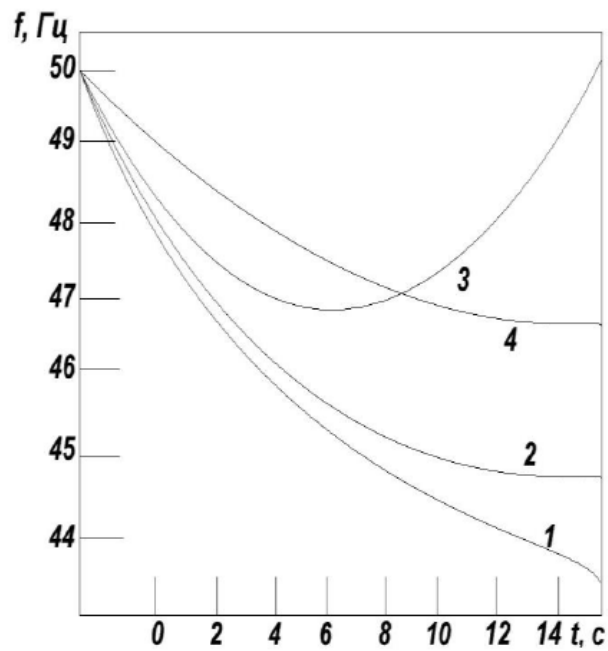


Рисунок 6.2 – Зміна частоти в енергосистемі при виникненні дефіциту активної потужності

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

Аварійне розвантаження енергосистеми персоналом підприємств вручну за графіком є корисним доповненням до АЧР. При недоліку включеного резерву потужності в енергосистемі (див. криві 2 і 4 на рис. 6.2) відбувається "зависання" частоти на низькому рівні, причому наступна черга АЧР може не спрацювати, тому що стала частота перевищує уставку спрацьовування. Відключенням споживачів за графіком частота відновлюється. Крім того, відключення споживачів за графіком застосовується при неприпустимому зниженні напруги у вузлових точках мережі, небезпечному по статичній стійкості навантаження. Розвантаження системи дією АЧР і за аварійним графіком проводиться в основному за рахунок промислових підприємств. Тому при проектуванні їхніх систем електропостачання, необхідно приймати, що відключаються від дії АЧР і за аварійним графіком, групувати на окремих

трансформаторних підстанціях, що мають пристрої АЧР або включені в аварійний графік.

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

6.5. Економія електроенергії в промислових електроустановках

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

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

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

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

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

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

Насосні станції. Вода для виробничих і господарськопобутових потреб необхідна на кожному виробництві. Економія електроенергії на водопостачання забезпечується вибором оптимального тиску у водопроводі (залежного від висоти підйому), залежить від витрати води і її температури. В охолоджуваних водою установках повинна підтримуватися задана температура. Тому для економії води потрібні автоматичні терморегулятори, що різко скорочують витрату води.

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

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

- застосування газорозрядних ламп (люмінесцентних і дугових ртутних) для електричного освітлення промислових цехів і приміщень. Люмінесцентні лампи і дугові ртутні лампи (ДЛР) дають світловий потік у 3–4 рази перевищуючий світловий потік ламп накаливання рівної потужності.

- вибір освітлювальної арматури, конструкція якої в значній мірі (від 0,4 до 0,8) впливають на ККД світильників і отже на витрату електроенергії;
- скорочення тривалості роботи і числа включених ламп, що досягається поліпшенням використання природного світла;
- скорочення тривалості роботи ламп зовнішнього освітлення завдяки автоматизації включення і відключення зовнішнього освітлення.

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

До конструктивних заходів відносяться: заміна декількох трансформаторів більш потужними; заміна раніше обраних проводів ЛЕП проводами більшого перетину; установка компенсуючих пристроїв (КП) реактивної потужності біля електроприймачів для розвантаження мережі від реактивної потужності і для підвищення рівнів напруги; переведення мереж на наступні ступені номінальної напруги – 380 на 660 В, 6 на 10 кВ, 10 на 20 кВ.

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

Одним з найважливіших заходів економії електроенергії в мережах є підвищення рівня експлуатаційної напруги до максимально припустимого рівня (до $1,05 U_{ном}$). Підвищення напруги в мережі приводить до зниження втрат потужності пропорційно квадратові напруги в струмоведучих частинах. Але підвищення напруги приводить до зростання втрат у сталі електричних машин і до збільшення споживання активної і реактивної потужності. По статичним характеристикам залежності P і Q від напруги (рис. 6.3) знаходимо, що при підвищенні напруги на 1 % активне навантаження зростає на 1 % і реактивне – на 3 %.

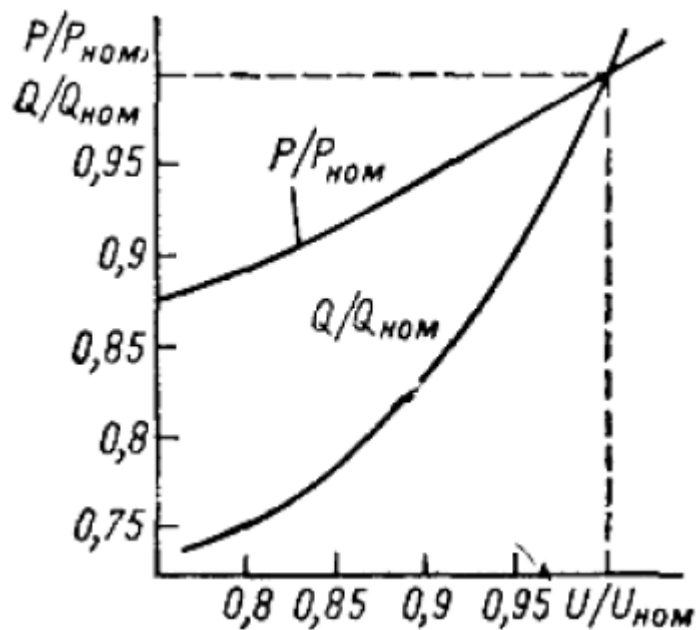


Рисунок 6.3 – Статичні характеристики залежності активного і реактивного навантажень у системі від напруги

Рекомендується включення трансформаторів на постійну паралельну роботу при наявності технічної можливості такої роботи за струмом КЗ і за умовами роботи захисту, це розглядається як діючий захід щодо зниження втрат електроенергії і по поліпшенню якості. Важливим заходом щодо економії втрат в електричних мережах є своєчасне відключення в резерв трансформаторів цехових підстанцій при зниженні їхнього навантаження і включення при зростанні навантаження. З тією ж метою передбачаються обмеження часу холостого ходу пічних і зварювальних трансформаторів відключенням їх у періоди розвантаження. Трансформатори цехових

підстанцій звичайно зв'язані попарно через перемички і секційні автоматичні вимикачі.

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

$$\Delta P_1 = \Delta P_C + \Delta P_{м,ном} \frac{I_p^2}{I_{ном}^2}, \quad (6.5)$$

де ΔP_C – втрати в сталі (втрати холостого ходу) трансформатора; $\Delta P_{м, ном}$ – втрати в міді (втрати КЗ) трансформатора при номінальному струмі $I_{ном}$; I_p – розрахункове навантаження.

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

$$\Delta P_n = nP_C + nP_{м,ном} \left(\frac{I_{p\Sigma}}{nI_{ном}} \right)^2 = nP_C + \frac{P_{м,ном}}{n} \left(\frac{I_{p\Sigma}}{I_{ном}} \right)^2, \quad (6.6)$$

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

При відключенні одного трансформатора втрати складають

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

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

$$\Delta P_n - \Delta P_{n-1} = \Delta P_C - \frac{\Delta P_{м,ном}}{n-1} n \left(\frac{I_{p\Sigma}}{nI_{ном}} \right)^2 = \Delta P_C - \frac{n}{n-1} \Delta P_{м,ном} \beta^2, \quad (6.7)$$

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

Відключення одного трансформатора відповідно до (6.7) вигідно, якщо

$$\beta < \sqrt{\frac{\Delta P_C}{\Delta P_{м,ном}} \frac{n-1}{n}}. \quad (6.8)$$

За паспортними даними, користуючись виразом (17.8), легко визначити навантаження, при якому варто змінити число включених трансформаторів.

При $n = 2$ при співвідношенні $\frac{\Delta P_C}{\Delta P_{м,ном}} = \frac{1}{3}$. Для цехових трансформаторних підстанцій вигідно відключити один трансформатор із двох у резерв при $\beta < 0,4$, тобто при навантаженні меншому 40 % від номінального.

РОЗДІЛ 7. ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1. Механічна обробка металів різанням

При холодній обробці металів на людину діє цілий комплекс небезпечних і шкідливих виробничих факторів (НіШВФ).

До небезпечних фізичних факторів відносяться:

- рухомі частини верстатів, вироби і заготівки;
- стружка і осколки інструментів;
- нагріті поверхні устаткування, інструменту, заготівок;
- висока напруга в силовій електричній мережі й статична електрика;
- підйомно-транспортні пристрої і переміщувані вантажі;
- можливість виникнення пожеж.

Шкідливими фізичними факторами є:

- високі вологість і швидкість руху повітря робочої зони, підвищена або знижена температура;
- підвищені рівні випромінювань, шуму і вібрації;
- підвищений вміст пилу в повітрі робочої зони;
- недостатня освітленість, підвищена яскравість світла і пульсація світлового потоку.

До **хімічних** НіШВФ відносяться токсичний пил, шкідливі пари і гази, аерозолі, агресивні рідини (кислоти, луи).

До **біологічних** НіШВФ відносяться мікроорганізми, що знаходяться у відпрацьованій мастильно-охолоджувальній рідині (МОР).

До **психофізіологічних** НіШВФ процесів обробки матеріалів різанням відносяться:

- фізичні перевантаження при установці, закріпленні та знятті великогабаритних виробів;

- перенапруження зору;

- монотонність праці.

До найважливіших факторів можна віднести: ріжучі інструменти (фрези, дискові пили, абразивні круги), приводні і передавальні механізми, зливну (стрічкову) стружку, стружку, що відлітає, пил.

При обробці крихких матеріалів (чавуну, латуні, бронзи, графіту, карболіту, текстоліту і ін.) на високих швидкостях різання **стружка** від верстата розлітається на значну відстань (3 - 5 м). Металева стружка, особливо при точінні в'язких металів (сталей), що має високу температуру (400 - 600°C) і велику кінетичну енергію, являє серйозну небезпеку не тільки для працюючого на верстаті, але і для осіб, що знаходяться поблизу верстата. Найпоширенішими у верстатників є **травми очей**. Так, при токарній обробці від загального числа виробничих травм пошкодження очей перевищило 50%, при фрезеруванні - 10 % і близько 8 % при заточуванні інструменту і шліфуванні. Очі ушкоджувалися стружкою, що відлітає, пиловими частинками оброблюваного матеріалу, осколками ріжучого інструменту і частинками абразиву.

Випадки **механічного травмування** при роботі на фрезерних верстатах розподіляються таким чином в відсотках:

- травмування пальців або кистей рук унаслідок захоплення їх інструментом, що обертається, – 70;

- травмування очей стружкою, що відлітає, – 15;

- травмування рук або ніг при наладці верстата, установці та знятті оброблюваної деталі, кріпленні та знятті інструменту, – 8;

- травмування тіла працюючого деталлю, що вирвалася з кріплення при обробці, – 3;

- травмування пальців рук при прибиранні стружки, – 3;

- інші випадки травмування, – 1.

Одним з шкідливих виробничих чинників є **пил**. Основним джерелом утворення пилу в механічних цехах служать шліфувальнозаточні операції. У процесі шліфування в повітря виділяється високодисперсний пил (0,5-3 мкм), до складу якого, окрім частинок металу, входять частинки абразивного (електрокорунд і карбід кремнію) і зв'язуючого матеріалу (керамічна, силікатна, магнезійна і інші зв'язки). Концентрація пилу досягає найбільшої величини при внутрішньому шліфуванні без вентиляції (28-153 мг/м³), при сухому шліфуванні з відсмоктуванням – запиленість складає 20 мг/м³ і більш. Вологе шліфування без вентиляції також не забезпечує повного знепилення (середня концентрація пилу – 6-7 мг/ м³). Крім того, утворюється масляна аерозоль з концентрацією 15-20 мг/ м³.

При точінні латуні й бронзи кількість пилу в повітрі виробничого приміщення відносно невелика (14,5 - 20 мг/м³). Проте, пил, що утворюється при точінні цих сплавів, токсичний (містить домішки свинцю).

При обробці різанням **полімерних матеріалів** відбуваються механічні й фізико-хімічні зміни їх структури і в повітря робочої зони поступає складна суміш парів, газів і аерозолів. Летючі продукти, що утворюються при тепловому розкладанні ряду пластмас, можуть викликати зміни центральної нервової і судинної систем, кровотворних і внутрішніх органів, а також шкірно-трофічні порушення. **Аерозолі нафтових масел, що** входять до складу МОР, 96 можуть викликати роздратування слизових оболонок верхніх дихальних шляхів, сприяти зниженню імунобіологічної реактивності.

Тривале вдихання пилу у виробничих умовах може призвести до розвитку пилових захворювань бронхолегеневого апарату – пневмоконіозів і хронічного пилового бронхіту. Надзвичайно небезпечне вдихання пилу, газів, туману берилію і його сполук, що призводить до захворювання бериліоз.

У робочих верстатників може виникати ряд **захворювань шкіри** (дерматози) від дії змашувальних і охолоджуючих масел і емульсій, сполук хрому, нікелю, кобальту, пластичних мас, скловолокнистих пластиків та ін. Найбільш поширені алергічні дерматити і екзема. МОР можуть шкодити організму при частому попаданні масла на відкриті ділянки шкіри, при

тривалій роботі в одязі, що пропитане маслом, при вдиханні масляного туману. Систематичний контакт з маслом може викликати гострі та хронічні захворювання шкіри, зокрема захворювання відоме під назвою масляних угрів (фолікулітів).

У робітників-верстатників у результаті тривалого стояння розвивається виражене розширення вен на ногах, яке ускладнене запальними або трофічними розладами. Робітники на конвеєрі, шліфувальники схильні до захворювань периферичних нервів і м'язів. До виникнення цих захворювань призводять систематичні тривалі статичні напруги м'язів, однотипні рухи, що виконуються у швидкому темпі, тиск на нервові стовбури і їх мікротравматизація.

Найбільш поширеними видами травм у верстатників є поранення очей, обличчя, рук, забої тіла. Аналіз причин виробничого травматизму в цехах холодної обробки металів показує, що основними причинами є:

- відсутність або недосконалість захисних огорожень і запобіжних пристроїв, несправний стан обладнання, інструменту та пристосувань,
- неправильне розміщення верстатного обладнання в цеху,
- неправильні прийоми роботи.

Таким чином, безпека при роботі на металорізальних верстатах пов'язана, насамперед, із виконанням вимог безпеки, а також здійснення необхідних заходів при організації робочого місця верстатника і суворе дотримання охорони та гігієни праці при роботі на верстатах.

7.2. Заходи безпеки

Передачі (ремінні, зубчасті, канатні, шарнірні, ланцюгові та ін.), які розташовані поза корпусів верстатів і становлять небезпеку травмування, повинні мати огорожі (суцільні, з жалюзі, з отворами), оснащені пристроями (рукоятками, скобами і т. д.) для зручного та безпечного їх відкривання, зняття, переміщення та устанавлення.

Захисні пристрої (щити, ширми, екрани), що огорожують зону обробки, повинні захищати працюючого на верстаті і людей, що знаходяться поблизу

верстата, від відлітаючої стружки, мастильно-охолоджувальної і робочої рідин. Застосування захисних огорожувальних пристроїв обов'язково для токарних, фрезерних, свердлильних, розточувальних, стругальних, зуборізних, шліфувальних верстатів.

Захисні пристрої не повинні обмежувати технологічних можливостей верстата і викликати незручності при роботі, прибиранні, налагодженні, приводити при відкриванні до забруднення підлоги. При необхідності вони повинні мати рукоятки, скоби для зручності відкривання, закривання, знімання, переміщення та устанавлення.

Кріплення захисних пристроїв повинно бути надійним, що виключає випадки самовідкривання. Пристрої, що підтримують огороження у відкритому стані, повинні надійно утримувати їх в цьому положенні.

Поверхні верстатів, захисних пристроїв, органів управління, верстатних приладь і пристосувань не повинні мати гострих кромek і задирок, які можуть травмувати працюючого.

Велике значення для запобігання нещасних випадків на виробництві має надійне закріплення на верстатах оброблюваних заготовок, патронів, планшайб, оправок, насадних головок, інструменту та інших знімних елементів.

Для зручності роботи і безпеки праці ряд вимог пред'являється до органів управління верстатами; обладнання органів управління надійними фіксаторами, що виключають мимовільне їх переміщення і випадкове включення; оснащення їх відповідними блокуваннями, пояснюючими написами, символами та ін.

Необхідно суворо дотримуватися правил носіння спецодягу. Для попередження небезпеки захоплення одягу і волосся працюючого обертовими механізмами верстата робочий одяг не повинен мати вільно розвіваючихся частин, рукава повинні щільно облягати руку і бути застебнутими на гудзики, волосся слід прибирати під берет, або косинку. Кінці косинки повинні бути ретельно заправлені.

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі зроблено розрахунок електропостачання цехової електричної мережі.

Система електропостачання підприємства складається з ряду підсистем і має ієрархічну структуру. Під першим ступенем розуміють навантаження створювану одним приймачем. Навантаження приймаємо рівною фактично споживаної навантаженні. По цьому навантаженні вибираємо перетин ліній, апаратуру.

Під другим ступенем розуміють навантаження, створювану групою електроприймачів. Визначаємо її за методом впорядкованих діаграм. По цьому навантаженні вибираємо перетин лінії живильної груповий щиток.

Третьою ступеню є навантаження на шинах низької напруги цехової підстанції. Розрахункове навантаження дорівнює середній споживаної потужності за найбільш завантажену зміну. Четвертим ступенем є навантаження на стороні високої напруги трансформаторної підстанції.

Однолінійна схема електропостачання блоку показує основні електричні з'єднання цехової мережі. Джерелом живлення цеху є комплектна однострансформаторні підстанція з трансформаторами ТМ-1000/10 / 0,4, розташована на відстані 650 м від цеху. Живлення здійснюється по кабельній лінії напругою 10 кВ. Серед споживачів електроенергії всі споживачі, це споживачі другої і третьої категорії надійності електропостачання. На високій стороні КТП встановлений вимикач навантаження ВА52-37.

Розроблено і прораховані два варіанти схем електропостачання даного об'єкту, і на підставі техніко-економічного порівняння варіантів обрана найбільш раціональна і вигідна схема (варіант №2, з використанням трьох силових пунктів, з'єднаних радіально і трьох силових пунктів, підключених до них шлейфами).

На лініях, що відходять обрані автоматичні вимикачі серії АЕ-2036ММ, а на вводах силового пункту з розрахунковим струмом понад 80 А - автоматичні вимикачі серії ВА - 5135.

Внутрішньоцехове електропостачання виконано за схемою: силові пункти - кабелі живлять окремі електроприймачі, - кабель марки АВВГ. Введення на ЦТП здійснюється кабельної перемичкою. Кабелі прокладені: на скобах по стінах, в трубах - в підлозі.

Прораховані струми короткого замикання. За ним перевірена комутаційно-захисна апаратура. У розділі релейний захист і автоматика був проведений розрахунок захисту кабельних ліній від всіх видів ушкоджень.

У даній роботі проведений світлотехнічний і електричний розрахунки системи освітлення токарного цеху.

На промислових підприємствах в основному виконується робоче та аварійне освітлення. В якості робочого освітлення в токарному цеху використовувалися лампи ДРЛ (дугові ртутні лампи високого тиску).

Проведена заміна всіх світильників в приміщеннях на світлодіодні світильники.

В результаті проведених розрахунків для робочого освітлення були підбрані економічні світлодіодні світильники (виробництва Україна, м Київ, ТОВ «Альтеко Груп»), які відповідають нормам освітленості токарного цеху.

Аварійне освітлення виконано світлодіодними світильниками марки LSI (Німеччина) з вбудованим акумулятором.

Зроблено вибір виду і системи освітлення, вибір і розміщення освітлювальних приладів, вибрано напруга електричної мережі, джерела і схеми живлення установки. Обрано вид проводки і провідникових матеріалів. Розроблено електротехнічна частина проекту освітлювальної установки.

Зроблено оцінку якості напруги в цехової мережі.

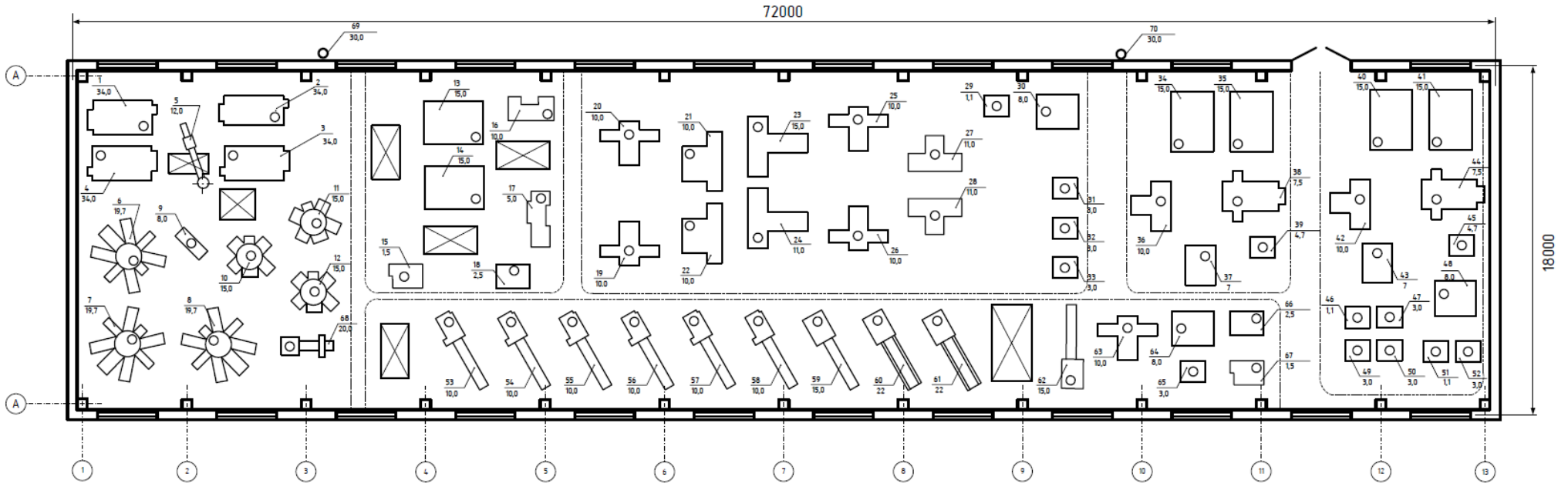
У спецчастині було проведено дослідження експлуатації систем електропостачання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. Міненерговугілля України. Х.: Видавництво: Форт, 2017. 760 с.
2. Винославский В.Н. Переходные процессы в системах электроснабжения / В.Н. Винославский, Г.Г. Пивняк, Л.И. Несен, А.Я. Рыбалко, В.В. Прокопенко - Киев: Вища школа головное издательство, 1989.
3. Закон України про охорону праці (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1992, №49, ст. 668).
4. Жежеленко И.В., Рабинович М.Л. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. Киев: Техника, 1981. 465с.
5. Бурбело М.Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків: Навчальний посібник з грифом МОН України. Вінниця: ВНТУ, 2005. 154 с.
6. Мілих В.І., Павленко Т.П. Електропостачання промислових підприємств: Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей. Харків: ФОП Панов А. М., 2016. 272 с.
7. Эксплуатация электрических систем (отдельные вопросы): учеб. пособ./ под ред. В.И. Гуль. Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. 200 с.
8. Клименко Б.В. Электричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту: навч. посіб. Харків: Вид-во «Точка», 2012. 340 с.
9. Павленко Т.П., Милых В.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. пособ. Харьков: НТУ «ХПИ», 2015. 269 с.
10. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання пром. підприємств: підручник. Вінниця: Нова книга, 2004. 656 с.
11. Козирський В.В., Волошин С.М. Основи електропостачання: підручник. К.: Компринт, 2021. 497с.
12. PANSINI, Anthony J. Electrical distribution engineering. River Publishers, 2020.
13. Принц М.В., Цимбалістий В.М. Электричні мережі. Монтаж, обслуговування та ремонт. Львів: Оріяна - Нова, 2003. 300с.

Додаток А

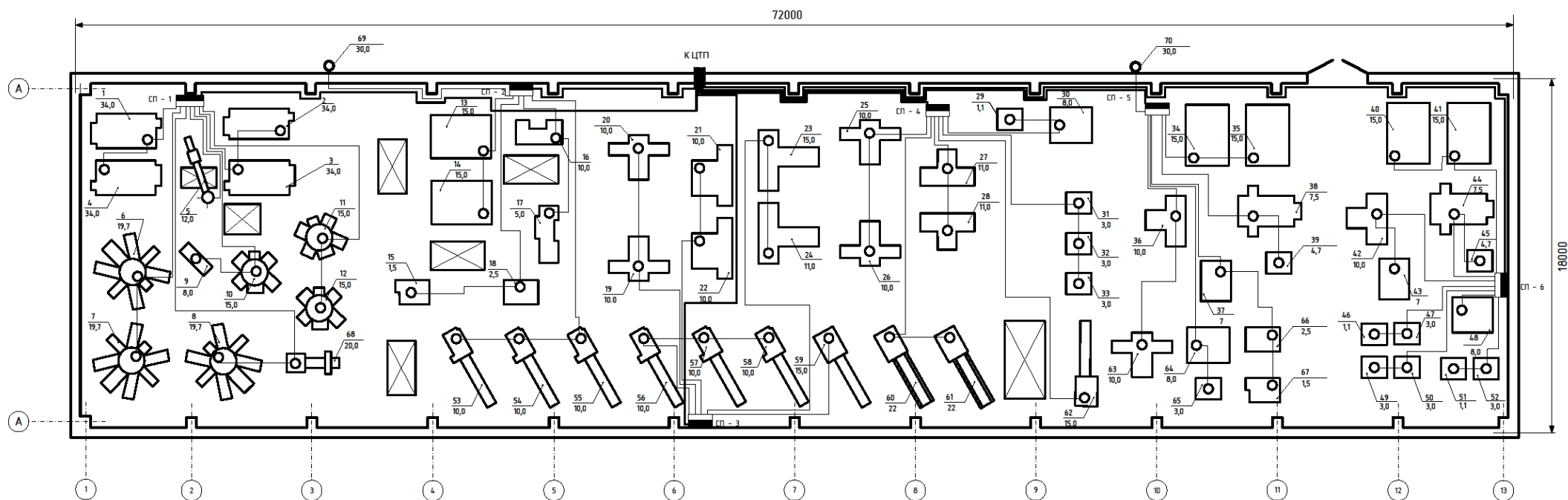
ГЕНЕРАЛЬНИЙ ПЛАН МЕХАНІЧНОГО ЦЕХУ



Додаток Б

СХЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МЕХАНІЧНОГО ЦЕХУ

варіант №1 (з використанням шести силових пунктів, з'єднаних радіально)



Додаток С

СХЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МЕХАНІЧНОГО ЦЕХУ

варіант №2 (з використанням трьох силових пунктів, з'єднаних радіально і трьох силових пунктів, підключених до них шлейфами)

