

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Підвищення надійності системи електропостачання механічного цеху

Виконав: студент VI курсу, групи ЕЕм-61

спеціальності 141 електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

Клачко В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Лупенко А.М.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Вакуленко О.О.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Тарасенко М.Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Трембач Р.Б.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2020

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Тарасенко М.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«02» вересня 2020 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Клачко Віталію Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення надійності системи електропостачання механічного цеху.

Керівник роботи Лупенко Анатолій Миколайович, д,т,н, професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «01» вересня 2020 року № 4/7-619

2. Термін подання студентом завершеної роботи 15 грудня 2020 р

3. Вихідні дані до роботи План розміщення електрообладнання, технічні дані встановленого електрообладнання механічного цеху, схема електропостачання підприємства

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітичний розділ

2. Проектно-конструкторський розділ

3. Розрахунково-дослідницький розділ

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Однолінійна схема електропостачання підприємства

2. План електросилового обладнання механічного цеху

3. Розрахункова схема електропостачання

4. План освітлювальної мережі механічного цеху

5. Дослідження надійності системи електропостачання механічного цеху з одним джерелом живлення

6. Дослідження надійності системи електропостачання механічного цеху з паралельним резервуванням від двох джерел живлення методом алгебри логіки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О. Я. к.т.н., доцент		
	Клепчик В.М. ст. викл.		
Нормоконтроль	Вакуленко О.О., ст. викл.		

7. Дата видачі завдання 2 вересня 2020 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	02.09.20-20.09.20	
2	Аналітичний розділ	21.09.20-11.10.20	
3	Проектно-конструкторський розділ	12.10.20-15.11.20	
4	Розрахунково-дослідницький розділ	16.11.20-06.12.20	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	25.11.20-15.12.20	
6	Загальні висновки	07.12.20-09.12.20	
7	Оформлення пояснювальної записки	09.12.20-15.12.20	
8	Оформлення графічної частини	16.11.20-15.12.20	

Студент

_____ (підпис)

Клачко В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Лупенко А.М.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Клачко В. В. Підвищення надійності системи електропостачання механічного цеху. 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Кваліфікаційна робота. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕЕм-61. – Тернопіль.: ТНТУ, 2020.

Стор. - 64; рис. - 10; табл. -10; плакатів - 8; джерел – 21; додатків - 6

У кваліфікаційній роботі проведено модернізацію системи електропостачання механічного цеху для підвищення надійності та ефективності роботи електромережі підприємства.

Здійснено розрахунки електричних навантажень, вибрано потужність та кількість силових трансформаторів цехової КТП (2 ТМГ- 630/10/0,4). Також, здійснено розрахунок розподільчої електромережі механічного цеху. Вибрано шинопроводи та кабелі, комутаційні та захисні апарати. Проведено компенсацію реактивної потужності та розраховано заземлюючий пристрій.

Здійснено вибір оптимальної схеми освітлювальної мережі механічного цеху на базі сучасних світлодіодних світильників High Bay. Проведено дослідження надійності системи електропостачання механічного цеху з паралельним резервуванням від двох джерел живлення (ТМГ-630/10) методом алгебри логіки.

Розглянуто заходи з техніки безпеки при експлуатації електрообладнання та протипожежні заходи у механічному цеху.

Ключові слова: СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, НАДІЙНІСТЬ, РЕЗЕРВУВАННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Аналіз вихідних даних	8
1.2 Аналіз показників надійності основних елементів систем електропостачання	9
1.3 Оцінка надійності системи електропостачання механічного цеху з послідовним з'єднанням елементів	12
1.4 Постановка завдань кваліфікаційної роботи	17
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	18
2.1 Розрахунок електричних навантажень силового обладнання механічного цеху	18
2.2 Розрахунок мережі освітлення механічного цеху	23
2.2.1 Вибір системи освітлення	23
2.2.2 Вибір типу світильників і їх розміщення на плані	24
2.2.3 Світлотехнічний розрахунок освітлювальної установки	25
2.2.4 Розрахунок електромереж освітлювальних установок	26
2.3 Розрахунок компенсації реактивної потужності	30
2.4 Вибір кількості та потужності силових трансформаторів цехової КТП	31
2.5 Розрахунок розподільчої мережі цеху та вибір комутаційної апаратури	32
2.5.1 Вибір кабеля живлення цехової КТП	32
2.5.2 Вибір шинопроводу	34
2.5.3 Вибір кабеля живлення розподільчих шинопроводів РП і ЩУ	34
2.5.4 Вибір розподільчих шинопроводів	36
2.5.5 Вибір розподільного пристрою (РП)	36
2.5.6 Вибір проводів для силового обладнання і автоматів захисту	37
2.6 Розрахунок захисного заземлення	38

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	42
3.1 Дослідження надійності системи електропостачання механічного цеху з паралельним резервуванням	42
3.1.1 Надійність систем з паралельним з'єднанням елементів	42
3.1.2 Дослідження надійності системи електропостачання механічного цеху з паралельним резервуванням від двох джерел живлення методом алгебри логіки	46
3.2 Техніко-економічне обґрунтування вибору силових трансформаторів на КТП	53
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	54
4.1 Заходи з техніки безпеки при експлуатації електрообладнання у механічному цеху	54
4.2 Протипожежні заходи у механічному цеху	56
4.3 Ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	61
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	62
ДОДАТКИ	65
Додаток А	
Додаток Б	
Додаток В	

ВСТУП

Актуальність теми. Системи електропостачання, відмова яких призводить до значних матеріальних, фінансових або людських втрат, організовуються як системи з резервуванням. Наявність резервування в системі зменшує час відновлення та підвищує надійність системи. Розрахунок надійності систем заснований на теоремах з теорії ймовірностей [1].

Для забезпечення надійної роботи відповідальних споживачів електричної енергії механічного цеху підприємства при нормальних і післяаварійних режимах, необхідно максимально зменшити число і тривалість перерви в електропостачанні, оскільки порушується технологічний процес виробництва продукції та несуться великі матеріальні збитки. Не останню роль в підвищенні надійності систем електропостачання відіграє розумне використання резервних джерел живлення, надійність роботи кожного елемента системи, зокрема електрообладнання. Отже, дослідження ефективності роботи, стійкості функціонування та підвищення надійності системи електропостачання механічного цеху підприємства є актуальним завданням.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності функціонування та надійності системи електропостачання механічного цеху промислового підприємства.

Завдання дослідження:

- проаналізувати показники надійності основних елементів систем електропостачання та дати оцінку надійності існуючої системи електропостачання механічного цеху;
- провести модернізацію системи електропостачання механічного цеху: розрахувати електричні навантаження, вибрати потужність та кількість силових трансформаторів, електрообладнання цехової КТП;
- здійснити вибір оптимальної схеми силової та освітлювальної мережі, комутаційних апаратів і пристроїв захисту, компенсацію реактивної енергії;

- провести дослідження надійності системи електропостачання механічного цеху з паралельним резервуванням від двох джерел живлення.

Об'єкт дослідження – система електропостачання механічного цеху.

Предмет дослідження – показники надійності роботи системи електропостачання механічного цеху.

Наукова новизна отриманих результатів: сформовано математичну модель для оцінки ймовірності безвідмовної роботи мережі живлення механічного цеху з резервуванням методом алгебри логіки.

Практичне значення отриманих результатів виявляється у створенні надійної, стійкої та ефективної системи електропостачання механічного цеху промислового підприємства.

Апробація.

Результати досліджень за темою кваліфікаційної роботи були представлені на IX-й Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (25-26 листопада 2020 року), Тернопіль, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя [1].

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 3 розділів, висновків, переліку посилань (21 найменувань), додатків (6 сторінок).

Загальний обсяг текстової частини – 64 сторінки, 10 таблиць, 10 рисунків.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз вихідних даних

Підприємство займається проектуванням та виробництвом електротехнічного устаткування. Випускає таку продукцію: трансформатори масляні та сухі; КТП, трансформатори та реактори для електровозів та електропоїздів, трансформатори для живлення глибинних насосів при видобудку нафти; спеціальні трансформатори малої потужності, камери збірні, щити однобічного обслуговування, газорегуляторні пункти блочної конструкції.

Механічний цех підприємства оснащений токарними, фрезерними, свердловальними, шліфувальними, заточними та іншими видами верстатів та технологічного обладнання (печі плавки, різноманітні преси, термопластавтомати). Режимом роботи головних приводів верстатів є тривалий зі змінним навантаженням.

Електроприводи верстатів повинні мати жорсткі механічні характеристики, оскільки швидкість обробки заготовок не повинна залежати від короткочасних змін у навантаженні. Це зумовлює використання в приводах асинхронних двигунів, для яких характерні саме такі характеристики. Більшість електроспоживачів потребують живлення трьохфазним змінним струмом. Але у випадку якщо є необхідність використання двигунів постійного струму в комплекті електрообладнання верстата використовують перетворювач струму.

Потужність приймачів енергії відносно невелика (до 60 кВт, окрім печі відпалювання потужністю 85 кВт), тому мережі цеху розраховують і забезпечують живлення під напругою 380/220В.

Іншою групою споживачів електроенергії цеху є світильники електроосвітлення, які теж відносяться до споживачів змінного струму.

Технологічне обладнання цеху забезпечує випуск комплектуючих до продукції підприємства.

Даний цех відноситься до II категорії по надійності електропостачання, оскільки значна перерва у його роботі, може призвести до зміни виробництва, провалу виробничих завдань і простою технологічного обладнання, іншими словами - до значних матеріальних збитків.

1.2 Аналіз показників надійності основних елементів систем електропостачання

Системи електропостачання сучасних промислових підприємств є складною розгалуженою, ієрархічною системою з великим числом проміжних комутуючих, трансформуючих і перетворюючих пунктів і пристроїв, наявністю мереж різних напруг і видів конструктивного виконання [2]. Загальна кількість різних апаратів, приладів в цих схемах десятки тисяч. Використовувані в системах електропостачання апарати, прилади навіть в межах одного підприємства розрізняються не тільки за рівнями струму і напруги, а й за конструктивним виконанням (наприклад, вимикачі для зовнішньої і внутрішньої установки). Електричні комунікації в цих системах також вельми різноманітні - повітряні лінії різних напруг, шинопроводи різних конструкцій, кабельні лінії різних напруг і способів прокладки.

Навіть окремі деталі цих елементів, що виконують одну і ту ж роль, можуть бути вельми різними (наприклад, кабельні приєднання до приймачів електроенергії та до апаратів). Якщо надійність системи електропостачання оцінювати по надійності окремих апаратів, пристроїв, приладів і т. п., то схема для розрахунку надійності виявиться дуже громіздкою і складною.

Залежно від постановки завдання дослідження одну і ту ж частину цієї системи електропостачання можна розглядати і як систему і як елемент системи. Наприклад, якщо аналізують надійність системи електропостачання підприємства в цілому, то окремі проміжні цехові підстанції можна вважати елементами системи електропостачання. Однак при аналізі надійності електропостачання окремих цехів ці ж підстанції або розподільні пристрої доцільно розглядати як певну систему. Якщо розглядають розподільний

пристрій як систему і оцінюють її надійність, то її елементами можуть бути комплектні пристрої, що становлять дану підстанцію. У свою чергу якщо вивчають надійність комплектного пристрою, то воно буде являти собою систему, що складається з окремих елементів - роз'єднувачів вимикачів, трансформаторів струму і ін. Якщо визначають надійність окремого обладнання, наприклад вимикача, то він вже буде являти собою систему елементів, що утворюють даний вимикач .

Показниками надійності елементів або системи називають величини, за допомогою яких кількісно оцінюють надійність. Надійність залежить від великої кількості факторів. Питання про показники надійності елементів систем електропостачання є складним. Справа не тільки в складності збору інформації, пов'язаної з різноманітним кліматичним і місцевим факторами, що впливають на надійність елементів систем електропостачання, але також і в необхідності збору великої кількості даних за досить великий проміжок часу. При проектуванні систем електропостачання розглядаються об'єкти, які будуть введені в дію через 2-5 років і експлуатуватися в наступні десятиліття. При цьому передбачається нове обладнання і апарати, інформації про надійність яких в умовах експлуатації ще недостатньо. Тому виникає друге питання - оцінка надійності нових елементів в схемних рішеннях.

При функціонуванні елементів, час від часу відбуваються відмови. Здійснюючи статистичну обробку даних про відмови, можна визначити показники надійності. Основними показниками надійності є [3]:

1. Ймовірність відмови $F(t)$ - імовірність того, що відмова наступила до моменту t

$$F(t) = p(\varphi_1 < t). \quad (1.1)$$

2. Інтенсивність відмов $\lambda(t)$, тобто імовірність що елемент відмовить у проміжку $(t + \Delta t)$, і який до цього пропрацював безвідмовно до t

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{p(t < \varphi_1 < t + \Delta t / \varphi_1 > t)}{\Delta t} = \frac{p(t < \varphi_1 < t + dt / \varphi_1 > t)}{dt}, \quad (1.2)$$

де φ_1 - випадковий інтервал часу до першої відмови.

3. Щільність ймовірності відмови, це є похідна величина від ймовірності відмови, тобто відмова елемента відбудеться за $(t, t + \Delta t)$

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = p(t < \varphi_1 < t + \Delta t). \quad (1.3)$$

4. Інтенсивність відновлення, це є умовна імовірність відновлення елемента за час $(t, t + \Delta t)$ при умові, що до цього часу він не був відновлений

$$\mu(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{p(t < \varphi_B < t + \Delta t / \varphi_B > t)}{\Delta t} = \frac{p(t < \varphi_B < t + dt / \varphi_B > t)}{dt},$$

$$\hat{\mu}(t) = \frac{m(t, \Delta t)}{M(t) \Delta t}. \quad (1.4)$$

5. Ймовірність безвідмовної роботи $R(t)$, іншими словами імовірність, що час безвідмовної роботи буде більше t

$$R(t) = p(\varphi_1 > t). \quad (1.5)$$

6. Математичне очікування τ чи середній час відновлення

$$\tau = M(\varphi_B) = \int_0^{\infty} G(t) dt. \quad (1.6)$$

7. Середній час T безвідмовної роботи

$$T = M(\varphi) = \int_0^{\infty} R(t) dt. \quad (1.7)$$

8. Імовірність $G(t)$, що час відновлення менше заданого

$$G(t) = p(\varphi_B < t), \quad (1.8)$$

де φ_B - випадковий проміжок часу від початку до кінця відновлення.

9. Параметр потоку відмов елемента

$$\omega(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{p(t, t + \Delta t) - p(t)}{\Delta t} = \frac{dp(t, t + dt)}{dt}. \quad (1.9)$$

1.3 Оцінка надійності системи електропостачання механічного цеху з послідовним з'єднанням елементів

Розглянемо систему з двох елементів, що з'єднані послідовно [4]. Розрахунок систем з елементів, з'єднаних послідовно або паралельно, ґрунтується на таких теоремах теорії імовірності:

1. Якщо A і B – дві незалежні події, ймовірність яких $P(A)$ і $P(B)$, то ймовірність того, що дві події відбудуться одночасно дорівнює добутку ймовірностей

$$P(AB) = P(A) * P(B). \quad (1.10)$$

2. Якщо достатньо щоб з двох сумісних подій відбулася хоча-б одна, то ймовірність настання такої події

$$P(A \vee B) = P(A) + P(B) - P(A) * P(B) \quad (1.11)$$

3. Якщо події несумісні то

$$P(A \vee B) = P(A) + P(B) \quad (1.12)$$

4. Якщо дві події не тільки несумісні, але й протилежні, то

$$P(A)+P(B)=1 \quad (1.13)$$

При трьох випадкових подіях A, B, C ймовірність того, що з трьох подій з ймовірностями $P(A)$, $P(B)$ і $P(C)$ відбудеться одна з них або A , або B , або C , або будь-яка комбінація з цих трьох подій, дорівнює

$$P(A \vee B \vee C) = P(A) + P(B) + P(C) - P(A) * P(B) - P(A) * P(C) - P(B) * P(C) + P(A) * P(B) * P(C) \quad (1.14)$$

Формули подібні до (1.14) можна одержати для чотирьох і більшого числа подій. Система з двох послідовно ввімкнених елементів не відмовить, якщо не відмовить і перший і другий елемент. Відповідно з законами множення ймовірностей, ймовірність складної події – безвідмовної роботи обох елементів дорівнює добутку ймовірностей простих подій.

Отже, ймовірність безвідмовної роботи системи з двох послідовно з'єднаних елементів дорівнює:

$$P_C(t) = P_1(t) \cdot P_2(t),$$

тобто

$$P_C(t) = e^{-\lambda_1 t} \cdot e^{-\lambda_2 t} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t} \quad (1.15)$$

Складні системи складаються з великої кількості елементів або блоків елементів, з'єднаних послідовно.

Якщо пристрій, блок, система складається з n елементів, з'єднаних послідовно, то ймовірність безвідмовної роботи обчислюється як

$$P(t) = P_1(t) * P_2(t) * \dots * P_n(t) = \prod_1^n P_i(t) , \quad (1.16)$$

тобто

$$P(t) = e^{-\sum_1^n \lambda_i t} \quad (1.17)$$

Формула (1.17) є основною для розрахунку надійності складних систем. Результат обчислений за цією формулою буде достовірним за трьох умов:

- потік відмов повинен бути найпростішим,
- значення інтенсивностей відмов λ_i повинні бути достовірними на інтервалі $0 \dots t$,
- тривалість інтервалу t не повинна бути більшою часу нормальної експлуатації елемента (час до початку зношування),

Найбільш достовірними значеннями λ є значення, наведені у паспортах на комплектуючі елементи. При відсутності паспортів дані беруться з довідників чи інших літературних джерел.

За стандартом на показники надійності, тривалість часу безвідмовної роботи вибирають з нормального ряду чисел $t = 100; 500; 1000; 2000; 5000; 10000$ годин. Дані по інтенсивності відмов елементів електромережі, взято з літературних джерел [5], наведені у таблиці 1.1.

У багатьох елементів при тривалому зберіганні або роботі інтенсивність відмов з часом зростає. Деякі елементи з часом зношуються, а інтенсивність відмов таких елементів збільшується. Інтенсивність відмов змінюється в залежності від зміни багатьох збурюючих факторів – електричних, кліматичних, радіаційних. Зміна характеристик надійності елементів в умовах експлуатації повинна враховуватись введенням спадаючої чи зростаючої функції інтенсивності відмов $\lambda(t)$.

Таблиця 1.1 – Інтенсивність відмов елементів електричних мереж

Назва	Інтенсивність відмов $\lambda * 10^5 \text{ год}^{-1}$
Трансформатори	0,1-0,2
Електродвигун	10
Реле електромеханічні	0,1-1,0
Вимикачі	0,3
Роз'єднувачі	3,0

В загальному випадку нестаціонарного потоку відмов

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (1.18)$$

Аналітичний вид функції $\lambda(t)$, як правило, невідомий. Сумарну інтенсивність потоку відмов знаходять методом наближеного інтегрування, розбиваючи відрізок від 0 до t на ділянки $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n$, на яких виконується умова

$\lambda_i(t) = \text{const}$. В цьому випадку

$$\int_0^t \lambda(t) dt \approx \sum_{i=1}^n \lambda_i * \Delta t_i \quad (1.19)$$

Для деяких нестаціонарних потоків відмов добре узгоджений з практикою результат дає розподіл Вейбулла-Гніденко.

$$P(t) = e^{-\lambda t^\beta} \quad (1.20)$$

де $\beta = 0,2 - 0,4$ - для електронних компонентів зі спадною функцією відмов, і $\beta = 1,2 - 1,4$ - для елементів із зростаючою функцією відмов.

Розглянемо існуючу систему електропостачання механічного цеху з одним силовим трансформатором - однотрансформаторна КТП потужністю

1000 кВА (рис. 1.1). Дана система складається з чотирьох елементів, з'єднаних послідовно (рис. 1.2).

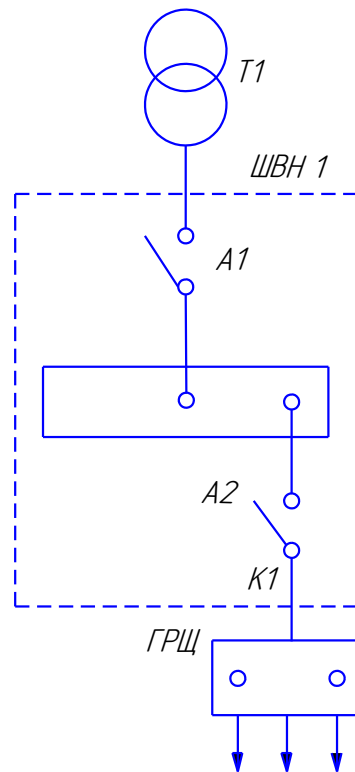


Рисунок 1.1 – Схема функціональна системи електропостачання з одним джерелом живлення: Т1 – силовий трансформатор; ШВН1 – шафа силова; К1– кабель, ГРЩ – головний розподільчий щит споживачів.

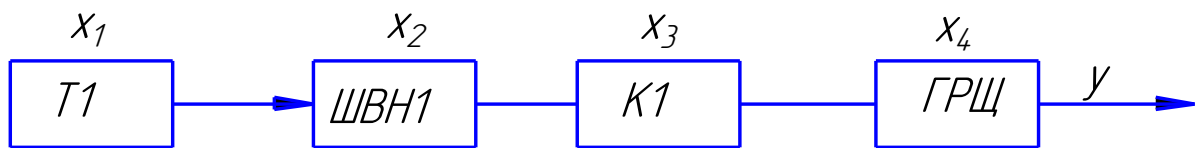


Рисунок 1.2 – Структурна схема системи

В теорії надійності послідовним з'єднанням є таке, коли при відмові одного елемента, відмовляє уся система.

Для системи що складається з $n = 4$ елементів, що з'єднані послідовно, імовірність безвідмовної роботи обчислимо за формулою

$$P(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_4(t) = \prod_1^4 P_i(t) , \quad (1.21)$$

Якщо вважати, що всі елементи мають однакову надійність $P(t) = 0,9$

$$P(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot P_3(t) \cdot P_4(t) = 0,9^4 = 0,66.$$

Таким чином, робимо висновок що, при послідовному з'єднанні надійність системи електропостачання механічного цеху є досить низькою (при $\max P(t) = 1$).

1.4 Постановка завдань кваліфікаційної роботи

Отже, проведений аналіз дозволив сформулювати наступні завдання для кваліфікаційної роботи:

- проаналізувати показники надійності основних елементів систем електропостачання та дати оцінку надійності існуючої системи електропостачання механічного цеху;
- провести модернізацію системи електропостачання механічного цеху: розрахувати електричні навантаження, вибрати потужність та кількість силових трансформаторів, електрообладнання цехової КТП;
- здійснити вибір оптимальної схеми силової та освітлювальної мережі, комутаційних апаратів і пристроїв захисту, компенсацію реактивної енергії;
- провести дослідження надійності системи електропостачання механічного цеху з паралельним резервуванням від двох джерел живлення.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Розрахунок електричних навантажень силового обладнання механічного цеху

Відомість приймачів електроенергії з приведеними в ній даними необхідна для розрахунку електронавантажень по цеху і наступного вибору силових трансформаторів трансформаторної підстанції. Дані наведено в таблиці 2.1.

Для розрахунків електронавантажень використовуємо метод впорядкованих діаграм. Споживачів електроенергії було розбито на групи у відповідності із розташуванням технологічного устаткування (табл. 2.1).

Таблиця 2.1- Відомість про споживачів електроенергії механічного цеху

№ п/п	Найменування	Кількість	Р уст, кВт		Кв	cosφ	tgφ
			однієї	загальна			
1	2	3	4	5	6	7	8
І група							
1	Машина для литва під тиском А711А08	4	28	112	0,40	0,80	0,75
2	Піч плавки алюмінію	4	45	180	0,70	0,95	0,33
3	Термопластавтомат ДЕ 3330	2	17	34	0,40	0,80	0,75
4	Термопластавтомат ДЕ 3132	2	13	26	0,40	0,80	0,75
ІІ група							
1	Термопластавтомат ДЕ 3132	4	13	52	0,40	0,80	0,75
2	Прес гідравлічний 500 т ДА 2238Б	2	48	96	0,40	0,80	0,75
ІІІ група							
1	Машина гідроабразивної різки	1	12	12	0,35	0,80	0,75
2	Прес гідравлічний 160 т ДГ 2432 А	4	23	92	0,40	0,80	0,75
3	Прес поетапний ДА 4436	4	37	148	0,35	0,80	0,75
4	Прес гідравлічний 100 т ДЕ 2430	2	19	38	0,35	0,80	0,75
5	Термопластавтомат ДЕ 3132	1	13	13	0,40	0,80	0,75

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8
IV група							
1	Прес гідравлічний 160 т ДГ 2432 А	10	23	230	0,40	0,80	0,75
2	Вулканізатор	1	60	60	0,70	0,95	0,33
3	Шприцпрес	1	7	7	0,35	0,80	0,75
4	Вальцювальна машина	1	7	7	0,35	0,80	0,75
5	Прес механічний 100 т КД 2130	9	13	117	0,25	0,80	0,75
6	Прес механічний 40 т КД 2126 Е	10	7	70	0,25	0,80	0,75
V група							
1	Піч відпалювання ОКБ-84	1	85	85	0,7	0,95	0,33
VI група							
1	Заточний верстат 3Б625	1	4	4	0,14	0,55	1,52
2	Заточний верстат 3Б632	1	5,5	5,5	0,14	0,55	1,52
3	Заточний верстат 3А64М	2	5,5	11	0,14	0,55	1,52
4	Заточний верстат 3Б652	1	5,5	5,5	0,14	0,55	1,52
5	Вертикально-свердлувальний верстат 2А125	1	4	4	0,17	0,60	1,33
6	Плоскошліфувальний верстат 3Б71Е	1	13	13	0,17	0,60	1,33
7	Плоскошліфувальний верстат 3Б722	1	17	17	0,17	0,60	1,33
VII група							
1	Токарно-револьверний верстат 1341	22	7	154	0,2	0,6	1,33
2	Токарно-гвинторізний верстат 1К62	9	8	72	0,17	0,65	1,17
3	Токарно-гвинторізний верстат 1А64	5	7	35	0,17	0,65	1,17
VIII група							
1	Пружинно навивний верстат А522	2	7	14	0,2	0,65	1,17
2	Різьбонакатний верстат 5А933	1	5,5	5,5	0,2	0,65	1,17
3	Болторізний верстат 5Д07	2	7	14	0,2	0,65	1,17
4	Токарний автомат 1А136	5	7	70	0,2	0,65	1,17
5	Токарний автомат 1П12	5	7	70	0,2	0,65	1,17
6	Горизонтально-фрезерний верстат 6М82	6	14,8	88,8	0,16	0,60	1,33
7	Вертикально-свердлувальний верстат 5А05	6	1,1	6,6	0,17	0,60	1,33
8	Вертикально-свердлувальний верстат 2А125	4	2,8	11,2	0,17	0,60	1,33
9	Вертикально-свердлувальний верстат 2А135	2	4	8	0,17	0,60	1,33

Визначаємо розрахункове навантаження електроприймачів на прикладі

I-ї групи.

Розраховуємо середню активну потужність:

$$P_{cp} = K_{\epsilon} \cdot \Sigma P_{yctm}. \quad (2.1)$$

Для обладнання з $K_{\epsilon} = 0,4$ і $\cos\varphi = 0,8$; $tg\varphi = 0,75$:

$$\begin{aligned} P_{cp1} &= K_{\epsilon1} \cdot \Sigma P_{yctm1}, & (2.2) \\ \Sigma P_{yctm1} &= 112 + 34 + 26 = 172 \text{ кВт}, \\ P_{cp1} &= 0,4 \cdot 172 = 68,8 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

Для обладнання з $K_{\epsilon} = 0,7$ і $\cos\varphi = 0,95$; $tg\varphi = 0,33$:

$$\begin{aligned} P_{cp2} &= K_{\epsilon2} \cdot \Sigma P_{yctm2}, & (2.3) \\ \Sigma P_{yctm2} &= 180 \text{ кВт}, \\ P_{cp2} &= 0,7 \cdot 180 = 126 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

Середня активна потужність приймачів I групи:

$$\begin{aligned} \Sigma P_{cp} &= P_{cp1} + P_{cp2}, & (2.4) \\ \Sigma P_{cp} &= 68,8 + 126 = 194,8 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

Розраховуємо середню реактивну потужність:

$$\Sigma Q_{cp} = \Sigma P_{cp} \cdot tg\varphi. \quad (2.5)$$

Для обладнання з $tg\varphi = 0,75$:

$$\begin{aligned} Q_{cp1} &= P_{cp1} \cdot tg\varphi, & (2.6) \\ Q_{cp1} &= 68,8 \cdot 0,75 = 51,60 \text{ кВА}. \end{aligned}$$

Для обладнання з $tg\varphi = 0,33$:

$$Q_{cp2} = P_{cp2} \cdot tg\varphi, \quad (2.7)$$

$$Q_{cp2} = 126 \cdot 0,33 = 41,58 \text{ кВАр.}$$

Середня реактивна потужність приймачів I групи:

$$\Sigma Q_{cp} = Q_{cp1} + Q_{cp2}, \quad (2.8)$$

$$\Sigma Q_{cp} = 51,60 + 41,58 = 93,18 \text{ кВт.}$$

Середнє значення коефіцієнта використання активної потужності по групі:

$$K_{\epsilon} = \frac{\Sigma P_{cp}}{\Sigma P_{уст}} = \frac{\Sigma P_{cp}}{\Sigma P_{уст1} + \Sigma P_{уст2}}, \quad (2.9)$$

$$K_{\epsilon} = \frac{194,8}{172 + 180} = 0,55.$$

Відношення найбільшої потужності приймача I групи до найменшої:

$$m = \frac{P_{уст.max}}{P_{уст.min}}, \quad (2.10)$$

$$m = \frac{45}{13} = 3,46 > 3.$$

Визначаємо коефіцієнт максимуму активної потужності K_m для групи. Для цього визначимо ефективне число електроприймачів групи n_{ef} , тобто таких однорідних по режиму роботи електроприймачів однакової потужності, які обумовлюють ту ж величину розрахункового (максимального) електронавантаження, що і дана група різних по потужності та режиму роботи електроприймачів.

В даному випадку, коли $K_{\epsilon} > 0,2$, а $m > 3$, n_{ef} визначаємо за формулою:

$$n_{ef} = \frac{2 \cdot \sum P_{уст}}{P_{max 1}}, \quad (2.11)$$

$$n_{ef} = \frac{2 \cdot 352}{45} = 16.$$

У випадку коли $n_{ef} > n$, приймається $n_{ef} = n$. Отже, для I групи

$$n_{ef} = 12.$$

Далі за таблицею посібника [5] визначаємо, що $K_M = 1,23$.

Визначаємо розрахункову (максимальну) активну потужність I групи електроприймачів:

$$P_1 = K_M \cdot \sum P_{cp}, \quad (2.12)$$

$$P_1 = K_M \cdot \sum P_{cp} = 1,23 \cdot 194,8 = 239,6 \text{ кВт.}$$

Визначаємо розрахункову (максимальну) реактивну потужність I групи електроприймачів, враховуючи, що $n_{ef} = 12 > 10$:

$$Q_1 = \sum Q_{cp} = 93,18 \text{ кВАр.} \quad (2.13)$$

Розрахункова повна потужність I групи приймачів:

$$S_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2}, \quad (2.14)$$

$$S_1 = \sqrt{239,6^2 + 93,18^2} = 257,08 \text{ кВА.}$$

Коефіцієнт потужності для даної групи приймачів:

$$\text{tg } \phi_1 = \frac{\sum Q_{cp}}{\sum P_{cp}}, \quad (2.15)$$

$$\text{tg } \phi_1 = \frac{93,18}{194,80} = 0,48, \quad \cos \phi_1 = 0,9.$$

Методика розрахунків для **II, III, IV груп** споживачів аналогічна.

Результати розрахунків зведено до таблиці А1 додатку А.

Розрахункова (максимальна) активна потужність:

$$P = 688,4 \cdot 1,15 = 791,66 \text{ кВт.}$$

Розрахункова реактивна потужність:

$$Q = \Sigma Q_{cp} = 520,59 \text{ кВАр.}$$

Розрахункова повна потужність групи приймачів:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (2.16)$$

$$S = \sqrt{791,66^2 + 520,59^2} = 947,49 \text{ кВА.}$$

2.2 Розрахунок мережі освітлення механічного цеху

2.2.1 Вибір системи освітлення

Використасмо для механічного цеху комбіновану систему освітлення. Комбінована система освітлення забезпечує нормативну освітленість робочих місць при менших капітальних витратах і менших витратах електроенергії, ніж при загальній системі.

При виборі джерел світла керуємося забезпеченням економного споживання електроенергії, надійності та врахування умов навколишнього середовища.

Умови в цеху нормальні за температурою та вологістю, запиленість повітря до 10 мг/м³.

Враховуючи висоту приміщення цеху $H = 11$ м, площу $132 \times 18 = 2376$ м², рівень задимленості та запиленості, та вимоги екологічності освітлення, вибираємо Світильник типу High Bay світлодіодний Schreder INDU BAY GEN3 140 Вт призначений для забезпечення сучасного світлодіодного освітлення для промислових приміщень, таких як великі фабричні зали, склади або майстерні.

INDU BAY GEN3 - це висотний світлодіодний світильник, призначений для ефективного освітлення з швидкою окупністю інвестицій. Світильник доступний в чотирьох габаритних розмірах, з різними діапазонами світлового потоку і потужностей (доступні потужності 115 Вт, 140 Вт, 185 Вт, 210 Вт), світлорозподілом і можливостями монтажу, щоб забезпечити сучасне світлодіодне освітлення промислових приміщень, таких як великі промислові цехи, склади і майстерні.

INDU BAY GEN3 являє собою ефективну альтернативу висотним світильникам під традиційні газорозрядні лампи потужністю до 400 Вт, створюючи безпечне і комфортне робоче простір. Крім того, INDU BAY GEN3 може комплектуватися елементами систем управління для забезпечення світла на вимогу. Світильник можна запрограмувати для адаптації рівня освітлення відповідно до сигналом датчиків або інших елементів управління. Завдяки надійній роботі, довговічності і мінімальному накопиченню пилу, витрати на сервісне обслуговування мінімальні.

INDU BAY GEN3 створює зручне робоче простір з відмінною видимістю (CRI 80+), що полегшує працівникам виконання необхідних функцій, підвищує моральний дух і підвищує продуктивність праці. Можливість інтеграції додаткового акумулятора дозволяє запропонувати функцію аварійного освітлення (опція).

Рівень освітленості приймаємо 150 лк (при рівні комбінованого освітлення 300 лк).

2.2.2 Вибір типу світильників і їх розміщення на плані цеху

Вихідні дані для подальших розрахунків:

- розміри приміщення цеху $A \times B = 132 \text{ м} \times 18 \text{ м}$;
- висота робочого місця $h_p = 1 \text{ м}$;
- стіни і стеля оштукатурені, побілені, коефіцієнти відображення

$$\rho_n = 50\%, \rho_c = 30\%, \rho_p = 10\%;$$

- в цеху виконують точні роботи, розмір об'єкту розрізнення

0,5 ..1 мм; контраст об'єктів з фоном середній, фон темний;

- коефіцієнт запасу $K_3 = 1,6$.

Розрахункова висота розміщення світильників складає:

$$h = H - (h_p + h_3) = 11 - (1 + 1) = 9 \text{ м.}$$

Із наведеного співвідношення знаходимо оптимальне значення L :

$$L = 1,4 \cdot h = 1,4 \cdot 9 = 12,6 \text{ м.}$$

Розміщуємо світильники в 2 ряди на відстані від краю 4 м, відстань між рядами 10 м (враховуючи ширину проходу 2 м світильники розміщуються симетрично над робочою зоною). При цьому кількість світильників в ряду дорівнює: $N_l = 132 : 6 = 22$ шт. Загальне число світильників $N = 44$ шт.

Схему розміщення світильників представлено на рисунку 2.1.

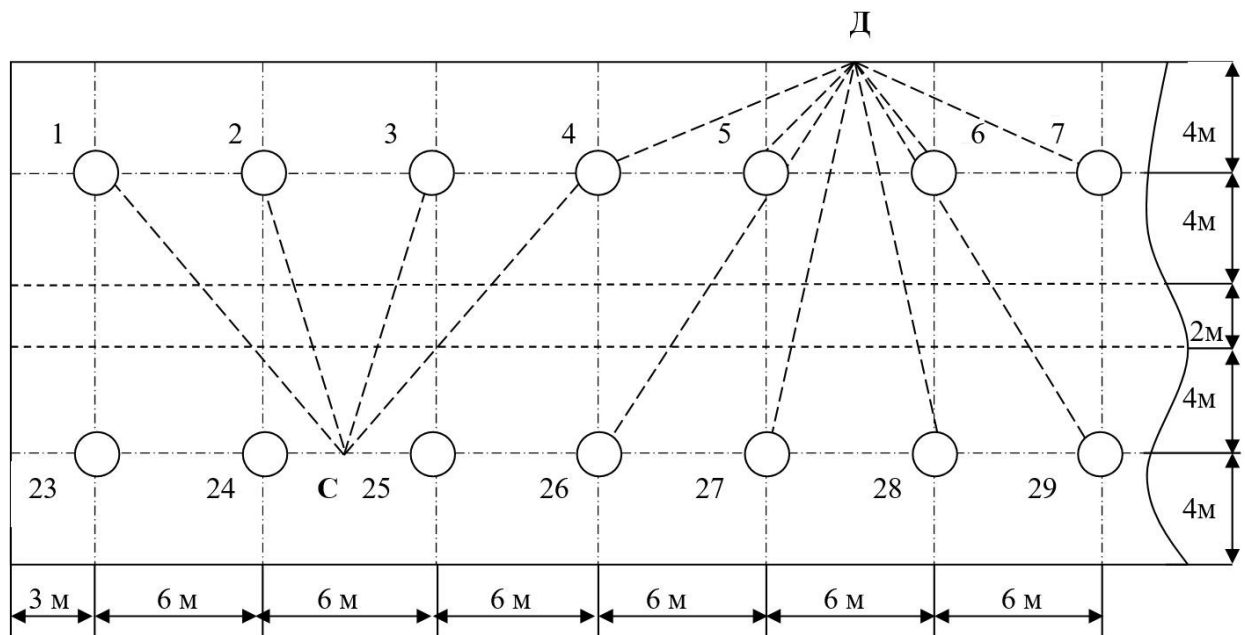


Рисунок 2.1 – План розміщення світильників у механічному цеху

2.2.3 Світлотехнічний розрахунок освітлювальної установки

Визначаємо необхідний світловий потік лампи методом коефіцієнта використання світлового потоку.

Показник приміщення цеху визначаємо за формулою:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (2.17)$$

$$i = \frac{132 \cdot 18}{9 \cdot (132 + 18)} = 1,76.$$

Із таблиці [10] вибираємо коефіцієнт світлового потоку

$$\eta = 0,53.$$

Кількість світильників буде рівною

$$N = \frac{E_n \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{n \cdot \Phi_n \cdot \eta}, \quad (2.18)$$

$$N = \frac{150 \cdot 1,2 \cdot 2376 \cdot 1,15}{1 \cdot 20800 \cdot 0,53} = 44,6 \approx 44$$

2.2.4 Розрахунок електромереж освітлювальних установок

Освітлювальні установки цеху живляться від трансформатора 630 кВА, коефіцієнт завантаження якого $K_3 = 0,662$, напруга живлення 380/220 В, звідки

$$U_{a.m} = \frac{P_k \cdot 100}{P_n}, \quad (2.19)$$

$$U_{a.m} = \frac{7,6 \cdot 100}{630} = 1,2\% ,$$

$$\Delta U_{p.m} = \sqrt{U_{к.з}^2 - U_{a.m}^2}, \quad (2.20)$$

$$\Delta U_{p.m} = \sqrt{5,5^2 - 1,2^2} = 5,36\% .$$

Тепер розрахуємо втрату напруги за формулою:

$$\Delta U_m = K_3 \cdot (U_{a.m} \cdot \cos \phi + U_{p.m} \cdot \sin \phi), \quad (2.21)$$

$$\Delta U_m = 0,662 \cdot (1,2 \cdot 0,97 + 5,36 \cdot 0,24) = 1,62\% .$$

Допустима втрата напруги в мережі освітлення становитиме:

$$\Delta U_n = 5 - 1,62 = 3,28\%.$$

Довжина лінії живлення від КТП до освітлювального щитка 50 м. Висота встановлення ЩО від підлоги становить 2 м.

Освітлювальна мережа виконана із чотирьох чотирипровідних груп по 11 світильників у кожній групі. Її загальна потужність:

$$P_{уст} = N \cdot P_l, \quad (2.22)$$

$$P_{уст} = 44 \cdot 0,14 = 6,16 \text{ кВт},$$

Освітлювальну мережу виконуємо проводами прокладеними в сталевих трубах від ЩО до магістралі на стропильних балках ($L_2 = 25\text{м}$). Магістралі по стропильним балкам виконуємо відкритою прокладкою проводів на ізоляторах (відстані між світильниками $l_1 = l_2 = l_3 = l_4 = l_5 = l_6 = l_7 = l_8 = l_9 = l_{10} = 6 \text{ м}$).

Момент навантаження на лінію живлення від КТП до ЩО:

$$M_1 = P_{уст} \cdot L_1, \quad (2.23)$$

$$M_1 = 6,16 \cdot 50 = 308 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

Момент навантаження на лінію від ЩО до магістралі на стропильних балках:

$$M_2 = N_l \cdot P_l \cdot L_2, \quad (2.24)$$

$$M_2 = 11 \cdot 0,14 \cdot 25 = 38,5 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

Кількість світильників на 1 фазу в групі становить чотири. Враховуючи, що при групових лініях із єднанням світильників по схемі в порядку А, В, С, А, В, С..., лінії можемо віднести до симетричних, хоча ΔU для окремих фаз може дещо відрізнятися.

Момент навантаження на фазу

$$M_3 = P_\phi \cdot \lambda = 0,56 \cdot 30 = 16,8 \text{ кВт}\cdot\text{м},$$

де $\lambda = 30$ – приведена довжина до центра навантаження.

Потужність на фазу:

$$P_\phi = 4 \cdot 0,14 = 0,56 \text{ кВт}.$$

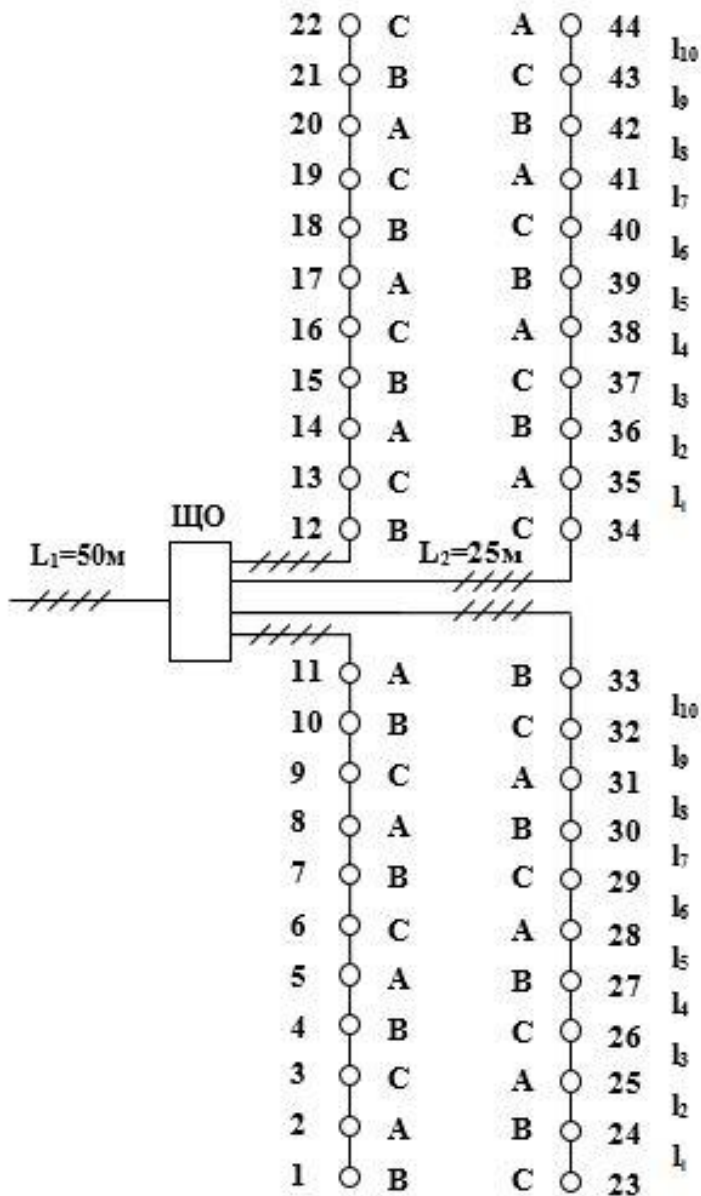


Рисунок 2.2 – План розміщення світильників

Повний момент навантаження дорівнює:

$$M_n = M_1 + 4 \cdot M_2 + 12 \cdot M_3 = 308 + 4 \cdot 38,5 + 12 \cdot 16,8 = 663,6 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

Із таблиці [11] вибираємо $S_1 = 16 \text{ мм}^2$. При цьому перерізі і $M_1 = 663,3 \text{ кВт}\cdot\text{м}$ ΔU_1 становитиме 1,5 %.

Для лінії на фазу від щитка:

$$M_\phi = M_2 + M_3 = 38,5 + 16,8 = 55,3 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

Вибираємо $S_2 = 4 \text{ мм}^2$ із $\Delta U_2 = 1,1 \text{ %}$.

Повне падіння напруги становитиме:

$$\Delta U = \Delta U_m + \Delta U_1 + \Delta U_2 = 1,62 + 1,5 + 1,1 = 4,2\%,$$

що знаходиться в межах норми.

Перевіримо проводи на допустимий нагрів:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot \cos \phi}, \quad (2.25)$$

$$I = \frac{44 \cdot 0,14}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95} = 10,44 \text{ А}.$$

Провід 16 мм^2 при прокладанні в сталевій трубі допускає струм у 55 А.

Вибираємо щиток освітлення ОЦВ-12 із автоматом на вводі А-3114 з тепловим реле струм розчіплювача якого становить 40А, і 12 фідерних автоматів А 3161 з тепловим реле на розчіплювачах 15 А.

Таким чином, активна потужність освітлення приміщень цеху складе:

$$P_{\text{осв}} = 6,16 \text{ кВт}.$$

Реактивна потужність освітлення механічного цеху

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot \text{tg} \phi, \quad (2.26)$$

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot \text{tg} \phi = 6,16 \cdot 0,33 = 2,03 \text{ кВАр}.$$

Далі визначимо потужність електроприймачів цеху з урахуванням потужності на освітлення:

$$P_{\text{pc}} = P_{\text{цех}} + P_{\text{осв}}, \quad (2.27)$$

$$P_{\text{pc}} = 791,66 + 6,16 = 797,82 \text{ кВт},$$

$$Q_{pc} = Q_{цех} + Q_{осв}, \quad (2.28)$$

$$Q_{pc} = 520,59 + 2,03 = 522,62 \text{ кВАр},$$

$$S_{pc} = \sqrt{P_{pc}^2 + Q_{pc}^2}, \quad (2.29)$$

$$S_{pc} = \sqrt{797,82^2 + 522,62^2} = 953,75 \text{ кВА}.$$

Загальний коефіцієнт потужності

$$\cos \phi_{pc} = \frac{P_{заг}}{S_{заг}}, \quad (2.30)$$

$$\cos \phi_{pc} = \frac{797,82}{953,75} = 0,84, \quad \text{tg } \phi_{pc} = 0,62.$$

Всі результати розрахунків зведемо до таблиці А1 (додаток А).

2.3 Розрахунок компенсації реактивної потужності

Застосуємо централізовану компенсацію – компенсуючий пристрій розміщуємо на КТП з підключенням на стороні низької напруги.

Визначаємо необхідну потужність компенсаторної установки для підняття значення $\cos \varphi$ до $\cos \varphi = 0,95$ ($\text{tg } \varphi = 0,33$).

Визначаємо величину реактивної потужності, яка підлягає компенсації.

$$Q_{ку} = P_p (\text{tg } \varphi_p - \text{tg } \varphi_n), \quad (2.35)$$

$$Q_{ку} = 797,82 \cdot (0,65 - 0,33) = 255,3 \text{ кВАр}.$$

Вибираємо [15] 2 конденсаторні установки з автоматичним регулюванням потужності внутрішньої установки з номінальною напругою 0,38 кВ типу ККУ-0,38-3-2Н потужністю по 165 кВАр.

Розрахункова потужність КТП з урахуванням компенсації реактивної потужності

$$S_{psc} = \sqrt{P_{заг}^2 + (Q_{заг} - Q_{ку})^2}, \quad (2.36)$$

$$S_{psc} = \sqrt{797,82^2 + (522,62 - 330)^2} = 820,74 \text{ кВА.}$$

$$\cos \phi_{psc} = \frac{P_{заг}}{S_{заг}}, \quad (2.37)$$

$$\cos \phi_{psc} = \frac{797,82}{820,74} = 0,97, \quad \text{tg } \phi_{psc} = 0,24.$$

2.4 Вибір кількості та потужності силових трансформаторів цехової КТП

Для II категорії споживачів рекомендується значення коефіцієнта завантаження трансформаторів ТП в межах 0,7..0,8.

Тобто,

$$K_3 = \frac{S_{psc}}{S_{н.т.}} = 0,7..0,8,$$

звідки потужність трансформатора:

$$S_{н.т.} = \frac{S_{psc}}{K_3}, \quad (2.38)$$

$$S_{н.т.} = \frac{821}{0,7..0,8} = 1040..1190 \text{ кВА.}$$

Отже можливі два варіанти вибору:

1-й варіант – один трансформатор потужністю $S_{н.т.} = 1000 \text{ кВА}$,

$$K_{31} = \frac{S_{psc}}{S_{н.т.1}} = \frac{834}{1000} = 0,834;$$

2-й варіант – два трансформатори потужністю $S_{н.т.} = 630$ кВА,

$$K_{з2} = \frac{S_{psc}}{S_{н.т.2}} = \frac{834}{2 \cdot 630} = 0,662.$$

Обидва варіанти прийнятні для роботи у нормальному режимі. Попередньо обираємо із каталогу продукції ВАТ «Укрелектроапарат» [16] для першого варіанту трансформатор типу ТМЗ-1000/10, для другого варіанту – 2 трансформатори ТМГ-630/10, технічні дані яких наведемо в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні дані трансформаторів

Тип силового трансформатора	$S_{н.т.}$, кВА	$\Delta P_{х.х.}$, кВт	$\Delta P_{к.з.}$, кВт	$U_{к.з.}$, %	$I_{х.х.}$, %
ТМЗ-1000/10	1000	1,65	10,8	5,5	1,2
ТМГ-630/10	630	1,05	7,6	5,5	1,9

Для другого варіанта в аварійному режимі, коли працює тільки один трансформатор, допускається його перевантаження на 40%, тобто один трансформатор ТМГ-630/10 може прийняти навантаження:

$$S_a = 1,4 \cdot S_{н.т.2} = 1,4 \cdot 630 = 882 \text{ кВА},$$

що більше $S_{psc} = 821$ кВА.

Таким чином, один трансформатор забезпечує в аварійному режимі повне живлення приймачів.

2.5 Розрахунок розподільчої мережі цеху та вибір комутаційної апаратури

2.5.1 Вибір кабелю живлення цехової КТП

Розрахунок і вибір провідників електричних мереж виконуємо на основі розрахункових навантажень, що наведені в таблиці А1 додатку А.

Обираємо кабель живлення КТП. Напруга живлення складає 10 кВ. Кабель вибираємо по економічній густині струму з перевіркою на допустиму втрату напруги та термічну стійкість при короткому замиканні.

Із таблиці [12] економічна густина струму для кабелів з алюмінієвими жилами $j_{ек} = 1,2 \text{ А/мм}^2$.

Обчислюємо струм кабеля 10 кВ:

$$I_p = \frac{S_{psc}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (2.39)$$

$$I_p = \frac{821}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 33 \text{ А.}$$

Необхідний переріз кабелю:

$$S_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}}, \quad (2.40)$$

$$S_{ек} = \frac{24,1}{1,2} = 20,1 \text{ мм}^2.$$

Із таблиці [12] стандартний переріз кабелю $S_{cm} = 25 \text{ мм}^2$, обираємо кабель марки ААШВ-10 (3 х 25).

Перевіряємо вибраний кабель на допустиму втрату напруги:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \phi + x_0 \cdot \sin \phi)}{U_n}, \quad (2.41)$$

де l – довжина кабельної лінії;

$$r_0 = 1,32 \text{ Ом/км};$$

$x_0 = 0,08 \text{ Ом/км}$ – активний та індуктивний опори лінії із таблиці [12];

$$\cos \phi = 0,97; \sin \phi = 0,24, \text{ із таблиці А1.}$$

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 24,1 \cdot 0,6 \cdot (1,32 \cdot 0,97 + 0,08 \cdot 0,24)}{10^4} = 0,325 \%,$$

що менше допустимих 5%.

Перевіряємо кабель на термічну стійкість при к.з. в мережі 10 кВ

$$S_{m.c.} = \alpha \cdot I_\infty \cdot \sqrt{t_n}, \quad (2.42)$$

де $\alpha = 12$ із таблиці 10-4 – розрахунковий коефіцієнт;

$I_\infty = 5$ кА- встановлений струм короткого замикання

$t_n = 1,58$ – величина, що залежить від часу спрацювання захисту (0,2 с).

$$S_{m.c.} = 12 \cdot 5 \cdot \sqrt{0,58} = 45,7 \text{ мм}^2.$$

Таким чином, виходячи з вимог термічної стійкості, необхідно вибрати кабель ААШВ – 10 (3 х 50).

2.5.2 Вибір шинопроводу

Максимальний струм становитиме

$$I_{pa} = \frac{S_p}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (2.43)$$

$$I_{pa} = \frac{821}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,38} = 634 \text{ А.}$$

Приймаємо ШМА73 на номінальний струм 1600А, лінійні втрати напруги 9,7В на 100 м, що складе 2,5% при повному навантаженні 1600А.

2.5.3 Вибір кабелю живлення розподільчих шинопроводів РП і ЩУ

Вибираємо кабелі для живлення розподільчих шинопроводів РП та ЩУ окремих технологічних об'єктів від РП-0,4 КТП по тривало допустимому струмові з виконанням умови $I_{дон} \geq I_p$.

Виконаємо вибір кабелю для живлення шинопроводу ШРА-1 на прикладі першої групи приймачів (табл. А1).

$$I_{pa} = \frac{S_{p1}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (2.44)$$

$$I_{pa} = \frac{257,08}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 390 \text{ А.}$$

Вибираємо провід з алюмінієвими жилами з прокладкою в сталєних трубах в дві лінії перерізом 120 мм^2 . Марка проводу АПВ-120, довжиною $l = 20$ м.

Виконуємо перевірку на допустиму втрату напруги при $\cos \varphi = 0,9$, $K = 0,13$.

$$\Delta U\% = K \cdot I \cdot l = 0,13 \cdot 192 \cdot 0,02 = 0,5\%,$$

що менше допустимого (5%).

За тією ж методикою вибираємо проводи для живлення інших ШРА, РП і ЩУ для інших груп споживачів. Розрахунки наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Проводи живлення шинопроводів

Джерело живлення	Електроприймач		Провідник			
	Найменування	I_p , А	Марка, переріз жил	$I_{доп}$, А	l , м	$\Delta U_{доп}$, %
ШМА 73	ШРА-1 (1 група)	390	2 АПВ-120, 120 мм^2	2 x 200	20	0,5
ШМА 73	ШРА-2 (2 група)	167	АПВ-95, 95 мм^2	175	40	0,97
РП-0,4	ШРА-3 (3 група)	265	2 АПВ-70, 70 мм^2	2 x 140	20	0,95
ШМА 73	ШРА-4 (4 група)	426	2 АПВ-120, 120 мм^2	2 x 120	40	1,02
РП-0,4	ЩУ-1 (5 група)	97	АПВ-50, 50 мм^2	120	30	0,85
ШМА 73	СП-1 (6 група)	43	АПВ-16, 16 мм^2	55	15	0,39
ШМА 73	ШРА-5 (7 група)	136	АПВ-70, 70 мм^2	140	40	0,84
ШМА 73	ШРА-6 (8 група)	155	АПВ-95, 95 мм^2	175	20	0,30

2.5.4 Вибір розподільчих шинопроводів

Вибираємо розподільчі шинопроводи по нагріванню тривало допустимим струму, за умови $I_{доп} \geq I_p$. Результати зводимо у таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Вибір розподільчих шинопроводів

Номер групи	Тип	$I_{роз},$ А	$U_n,$ В	$I_{доп},$ А	Розміри шин, мм	Опір на фазу, Ом/км	
						r_0	x_0
ШРА-1 (1 група)	ШРА- 73	390	380	400	50 x 5	0,13	0,1
ШРА-2 (2 група)	ШРА- 73	167	380	250	30 x 5	0,2	0,1
ШРА-3 (3 група)	ШРА- 73	265	380	400	50 x 5	0,13	0,1
ШРА-4 (4 група)	ШРА- 73	426	380	600	80 x 5	0,085	0,075
ШРА-5 (7 група)	ШРА- 73	136	380	250	30 x 5	0,2	0,1
ШРА-6 (8 група)	ШРА- 73	155	380	250	30 x 5	0,2	0,1

2.5.5 Вибір розподільного пристрою (РП)

Вибираємо розподільчий пункт РП-1 за тривало допустимим струмом ввідного автомата і кількістю та допустимим струмом фідерних автоматів. Струм номінальний на ввідному пристрої рівний 42 А. Струм на фідерних автоматах визначаємо за формулою:

$$I_{\phi} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \phi}, \quad (2.45)$$

Результати розрахунків зводимо до таблиці 4.3.

Приймаємо розподільчий пункт РП-2 (за схемою 16) із ввідним автоматом А 3734С з межами регулювання струму 250..400А.

2.5.6 Вибір проводів для силового обладнання і автоматів захисту

Виберемо проводи для підключення технологічного обладнання до шинопроводів і РП. Умова вибору за тривало допустимим струмом нагрівання:

$$I_{доп} \geq I_p.$$

Розрахункові значення струмів визначаємо за установленою потужністю приймачів (таблиця А1).

Таблиця 2.5 – Вибір розподільного пристрою

Назва автоматів (номер по схемі)	ΣP_n	I_n , А	$I_{n,роз.}$ фідерного автомата, А	Тип фідерного автомата
28, 29, 30	13,5	37	40	А 3710
31 (2 шт.)	5,5	14	16 (2 шт.)	А 3710
32	13	32,8	40	А 3710
33	17	47,2	63	А 3710
34	4	12,1	16	А 3710

Для приймачів першої групи (ШРА-1):

- машина для литва під тиском:

$$I_p = \frac{P_{уст}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \phi} = \frac{28}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8} = 55 \text{ А};$$

- піч плавки алюмінію:

$$I_p = \frac{45}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,95} = 72 \text{ А};$$

- термопластавтомат ДЕ3380:

$$I_p = \frac{17}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8} = 32 \text{ А};$$

- термопластавтомат ДЕ3132:

$$I_p = \frac{13}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8} = 25 \text{ А}.$$

Із таблиці [12] вибираємо провід з алюмінієвими жилами одножильний при прокладці в сталевій трубі з петиним жил:

- машина для литва під тиском – $S = 16 \text{ мм}^2$; $I_{\text{дон}} = 55 \text{ А}$;
- піч плавки алюмінію – $S = 35 \text{ мм}^2$; $I_{\text{дон}} = 85 \text{ А}$;
- термопластавтомат ДЕ3380 – $S = 10 \text{ мм}^2$; $I_{\text{дон}} = 39 \text{ А}$;
- термопластавтомат ДЕ3132 – $S = 4 \text{ мм}^2$; $I_{\text{дон}} = 28 \text{ А}$.

Марка проводів АПВ.

Для інших груп споживачів проводи вибираємо за тією ж методикою, а результати зводимо до таблиці В1 додатку В.

Автомати відгалужувальних коробок виконують не тільки функції комутації, але і функції захисту від струмів короткого замикання, тому необхідно вибрати тип автомата із врахуванням умови $I_{\text{уст.розч}} \geq 1,25 \cdot I_p$. Окрім того номінальна напруга і струм автомата повинні бути не меншими, аніж напруга і струм споживача.

Так наприклад для підключення машини для литва під тиском при $I_p = 53 \text{ А}$ вибираємо автомат типу А3710Б з технічними характеристиками: $U_{\text{н.а}} = 380 \text{ В}$; $I_{\text{н.а}} = 160 \text{ А}$; $I_{\text{н.розч}} = 80 \text{ А}$. Умови вибору виконуються.

Аналогічно вибираємо автомати і для інших електроприймачів механічного цеху.

2.6 Розрахунок захисного заземлення

Приймаємо виконання контурного заземлюючого пристрою, тобто електроди розміщуємо по контуру площадки під трансформаторну підстанцію.

$$R_3 \leq \frac{125}{I_3} \leq \frac{125}{60} = 2,08 \text{ Ом.}$$

Приймаємо $R_3 \leq 2$ Ом.

Приймаємо, що стержні заземлюючого пристрою виготовлені із сталевих труб діаметром 60 мм, розташованих вертикально, як це показано на рисунку 2.3, де $l = 2,5$ м; $t' = (0,7 + 2,5 : 2) = 1,95$ м; $t_0 = 0,7$ м.

Заземлюючі стержні довжиною 2,5 м забиваємо на відстані 2,5 м один від одного.

Грунт – глина з питомим опором $\rho_{ep} = 40$ Ом·м; $K = 1,4$.

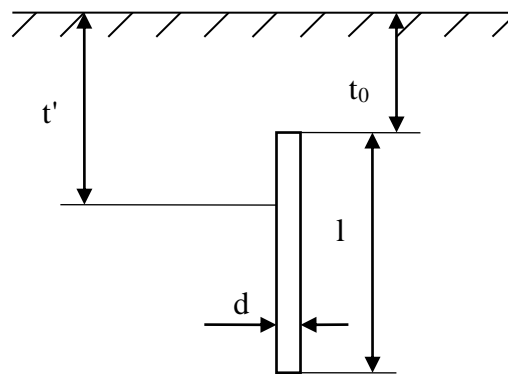


Рисунок 2.3 – Розміщення вертикального заземлювача в землі

Визначаємо опір розтікання вертикального стержня:

$$R_B = \frac{0,366 \cdot \rho_{ep} \cdot K}{l} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot l}{d} + 0,5 \cdot \lg \frac{4 \cdot t' + l}{4 \cdot t' - l} \right) =$$

$$= \frac{0,366 \cdot 40 \cdot 1,4}{2,5} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 2,5}{0,06} + 0,5 \cdot \lg \frac{4 \cdot 1,95 + 2,5}{4 \cdot 1,95 - 2,5} \right) = 8,2 (\text{Ом})$$

Кількість вертикальних заземлювачів:

$$n_B = \frac{R_B}{\eta \cdot R_3} = \frac{8,2}{0,5 \cdot 2} = 8,2,$$

де $\eta = 0,5$ – коефіцієнт використання із таблиці 66 [17].

Приймаємо для встановлення 9 стержнів. При співвідношенні довжини між електродами та їх довжиною l , довжина контуру становитиме:

$$l = 2,5 \cdot 9 = 22,5 \text{ м.}$$

З'єднання вертикальних стержнів здійснюємо кругом Сталь 3 \varnothing 16 мм, розташованим на глибині 0,7 м. Опір розтіканню горизонтального контуру становитиме:

$$R_{\Gamma} = \frac{0,366 \cdot \rho_{\text{сп}} \cdot K}{l} \cdot \lg \frac{l^2}{d \cdot t'} = \frac{0,366 \cdot 40 \cdot 1,4}{2,5} \cdot \lg \frac{2,5^2}{0,016 \cdot 0,7} = 4,24 \text{ Ом.}$$

Дійсний опір горизонтального контуру:

$$R'_{\Gamma} = \frac{R_{\Gamma}}{\eta} = \frac{4,24}{0,34} = 12,5 \text{ Ом.}$$

де $\eta = 0,34$ – коефіцієнт використання із таблиці 66 [3.149].

Опір розтіканню заземлювачів із врахуванням опору горизонтального контуру складе:

$$R'_3 = \frac{R'_{\Gamma} \cdot R}{R'_{\Gamma} - R} = \frac{12,5 \cdot 2}{12,5 - 2} = 2,32 \text{ Ом.}$$

Уточнимо кількість вертикальних заземлювачів:

$$n_3 = \frac{R_B}{\eta \cdot R'_3} = \frac{8,2}{0,5 \cdot 2,32} = 7,07.$$

Отже, приймаємо до встановлення 8 вертикальних стержнів.

Конструкція контуру заземлення представлена на рисунку 3.4.

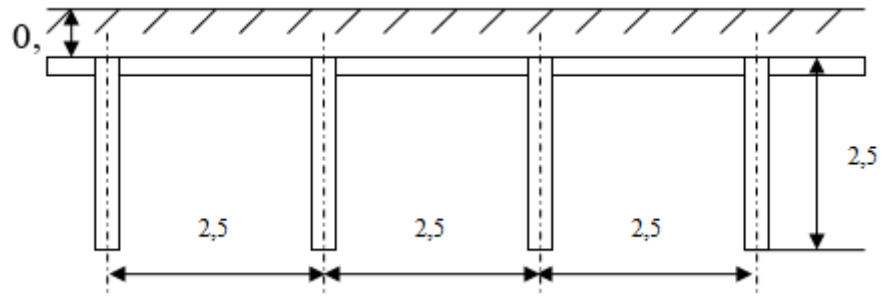


Рисунок 2.4 – Конструкція контуру заземлення цеху

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Дослідження надійності системи електропостачання механічного цеху з паралельним резервуванням

3.1.1 Надійність систем з паралельним з'єднанням елементів

Надійність систем залежить не тільки від надійності і кількості елементів, які в неї входять, але й від способу їх з'єднання. Ми вже дали визначення і розглянули надійність системи з послідовно з'єднаних елементів. При послідовному з'єднанні елементів система стає непрацездатною при відмові будь-якого одного елемента [17].

Складні системи завжди складені з великого числа елементів і блоків, з'єднаних послідовно. В деяких системах для підвищення надійності менш надійних елементів до них під'єднують резервні елементи, які працюють паралельно з основними, або до груп елементів, з'єднаних послідовно під'єднують паралельно такі самі групи з'єднаних послідовно елементів, або групи паралельно з'єднаних елементів з'єднують послідовно.

Системи з паралельним з'єднанням елементів називають системами з структурною надмірністю, або системами з резервуванням. Фрагменти таких систем зображені на рисунку 3.1.

Розглянемо системи з постійним резервуванням, при якому резервні елементи з'єднані з основними постійно і знаходяться з ними в одному режимі роботи. Такий резерв називають “навантаженим”. Розрахунок надійності систем при постійному резервуванні заснований на теоремах з теорії ймовірностей, наведених у попередньому підрозділі.

Застосовуючи наведені формули, обчислимо ймовірності безвідмовної роботи і ймовірності відмови для варіантів схем рис. 3.1 а і б.

Ймовірність безвідмовної роботи схеми рис. 3.1, а знайдемо як ймовірність настання однієї з трьох подій – не відмовить елемент 1, не відмовить елемент 2, не відмовлять обидва елементи

$$P_a = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2. \quad (3.1)$$

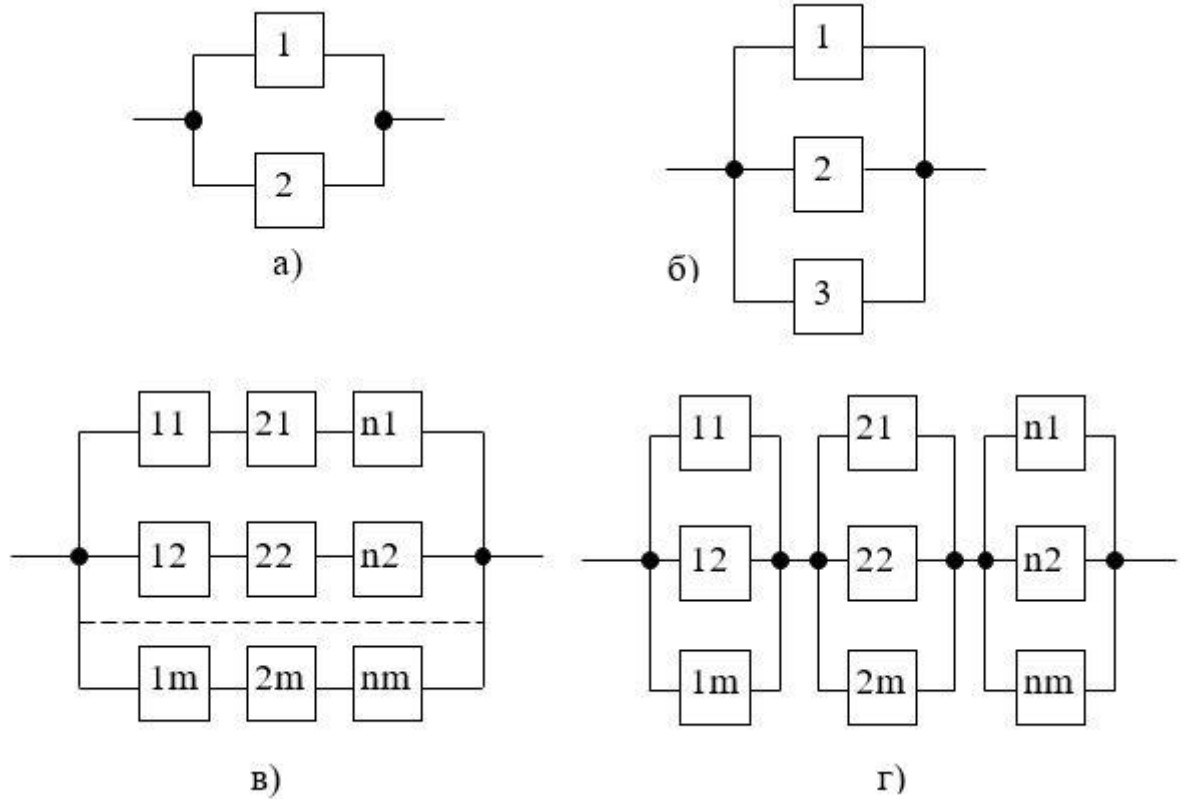


Рисунок 3.1 – Типові схеми з'єднання елементів у блоки в системах з резервуванням

Ймовірність відмови системи знайдемо як ймовірність настання події – відмовлять обидва елементи

$$Q_a = Q_1 \cdot Q_2. \quad (3.2)$$

Відмова системи і “невідмова” – події несумісні і протилежні, отже

$$P_a = 1 - Q_a \text{ або } P_a = 1 - Q_1 \cdot Q_2. \quad (3.3)$$

Схема рис. 3.1.б

$$P_{\bar{6}} = P_1 + P_2 + P_3 - P_1 \cdot P_2 - P_1 \cdot P_3 - P_2 \cdot P_3 + P_1 \cdot P_2 \cdot P_3. \quad (3.4)$$

$Q_{\bar{6}} = Q_1 * Q_2 * Q_3$ - система відмовляє, якщо відмовляють три елементи разом.

$$P_{\bar{6}} = 1 - Q_1 * Q_2 * Q_3. \quad (3.5)$$

З наведених прикладів робимо висновок, що при паралельному з'єднанні елементів ймовірність безвідмовної роботи системи можна знаходити двома способами:

- через ймовірність безвідмовної роботи елементів, або через ймовірність відмов елементів;

- Другий спосіб простіший, особливо якщо число паралельних ланцюгів більше двох. Для послідовно-паралельних схем (в) і паралельно-послідовних (г) застосовуючи наведені формули, легко знайти кінцевий результат.

Для наближеної оцінки ймовірності відмови використовують розкладання в ряд функції e^{-x} .

$$P(t) = e^{-\lambda t} = 1 - \lambda t + \frac{\lambda^2 t^2}{2!} - \frac{\lambda^3 t^3}{3!} + \dots \quad (3.6)$$

або
$$P(t) \approx 1 - \lambda t \quad (3.7)$$

звідки
$$Q(t) \approx \lambda t \quad (3.8)$$

Розглянемо надійність схем 3.1, в і 3.1, г за умовою $n = m = 3$, елементи 11, 12, 13 одного типу, з $\lambda_1 = 5 \cdot 10^{-5} \text{Год}^{-1}$, елементи 21, 22, 32 – з $\lambda_2 = 3 \cdot 10^{-5} \text{Год}^{-1}$, елементи 31, 32, 33 – з $\lambda_3 = 2 \cdot 10^{-5} \text{Год}^{-1}$, $t = 1000 \text{годин}$.

Для схеми 3.1, в. ймовірність відмови одного послідовного кола

$$Q_{1B} \approx (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) * t \approx 10^{-4} * 10^3 = 0,1$$

Ймовірність безвідмовної роботи одного послідовного кола

$$P_{1B} = 1 - Q_{1B} \approx 0,9$$

Ймовірність відмови двох ланцюгів $Q_{2b} \approx (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)^2 * t^2 \approx 10^{-8} * 10^6 = 0,01$

Ймовірність безвідмовної роботи $P_{2b} = 1 - Q_{2b} \approx 0,99$

Ймовірність відмови трьох ланцюгів $Q_{3b} \approx (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)^3 * t^3 \approx 10^{-12} * 10^9 = 0,001$

Ймовірність безвідмовної роботи $P_{3b} = 1 - Q_{3b} \approx 0,999$.

Для схеми рис. 1.1, з відмова відбувається, якщо відмовляє хоча би один паралельний блок. Найбільшу ймовірність відмови має блок з найбільшою інтенсивністю відмов, тобто блок 1, де $\lambda_1 = 5 * 10^{-5} \text{ год}^{-1}$. Ймовірність відмови системи дорівнює ймовірності відмови цього блоку, тобто

$$Q_z = Q_{12} \approx (\lambda_1 * t)^3 = (5 * 10^{-5} * 10^3)^3 = 1,25 * 10^{-4}$$

Ймовірність безвідмовної роботи системи

$$P_z = 1 - Q_z \approx 1 - 1,25 * 10^{-4} \approx 0,9999$$

Наведений приклад дає змогу впевнитись у тому, що резервування, поперше, значно підвищує надійність системи; подруге - надійність системи з резервом суттєво залежить від схеми з'єднання елементів.

Отже, при паралельному з'єднанні двох елементів ймовірність системи знаходиться з застосуванням формул (2.15) або (2.17), при паралельному з'єднанні трьох елементів застосовують формулу (2.18) або (2.19). В загальному випадку, при паралельному з'єднанні n елементів ймовірність відмови знаходять за формулою

$$Q_C(t) = Q_1 \cdot Q_2 \cdot \dots \cdot Q_n = \prod_{i=1}^n Q_i \quad (3.9)$$

Ймовірність безвідмовної роботи – за формулою

$$P_C(t) = 1 - Q_1 \cdot Q_2 \cdot \dots \cdot Q_n = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i \quad (3.10)$$

3.1.2 Дослідження надійності системи електропостачання механічного цеху з паралельним резервуванням від двох джерел живлення методом алгебри логіки

Системи, відмова яких призводить до значних матеріальних, фінансових або людських втрат, організовуються як системи з резервуванням. До таких систем належать системи енергозабезпечення, системи зв'язку, інформаційно-комп'ютерні системи, системи навігації і т.і. Щоб знайти оцінки показників надійності такої системи потрібно, перш за все, сформулювати умови її працездатності, умови при виконанні яких вона може виконати поставлену перед нею задачу. Це можна здійснити кількома способами, а саме:

- словесним описом,
- графічно, за допомогою структурної схеми графів,
- аналітично, наприклад, за допомогою функцій алгебри логіки (ФАЛ).

Словесний опис умов працездатності системи є найбільш простим і поширеним, але не завжди. У складних структурних схемах не завжди проглядаються не тільки зворотні зв'язки, але й прямі зв'язки між елементами або блоками. Втрата цих зв'язків при аналізі умов працездатності дає хибний результат.

У багатьох випадках структурна схема містить повну інформацію про логіку виникнення відмов у системі. Тоді її можна розглядати як форму зображення логічних зв'язків між подіями “відмова елемента” і “відмова системи” або як форму зображення логічної функції працездатності (ЛФП). Таке співвідношення між структурною схемою і функцією алгебри логіки (ФАЛ) характерне для багатьох інформаційних систем з одним джерелом інформації і одним споживачем при повному оповіщенні мережі; для електроенергетичних систем з однією групою споживачів без обмеження потужності генераторів і комутаційної апаратури. Такі системи можна вважати працездатними, якщо існує хоча б один працездатний шлях у структурі між її полюсами. Такі системи називають системами першого типу. Прикладом такої системи може бути система енергозабезпечення, зображена на рис. 3.2.

Система працездатна, якщо працездатні послідовно сполучені елементи:

1. Т1, ШВН1, К1, ГРЩ, або
2. Т2, ШВН, К2, ГРЩ, або
3. Т1, ШВН1, П, К2, ГРЩ, або
4. Т2, ШВН2, П, К1, ГРЩ.

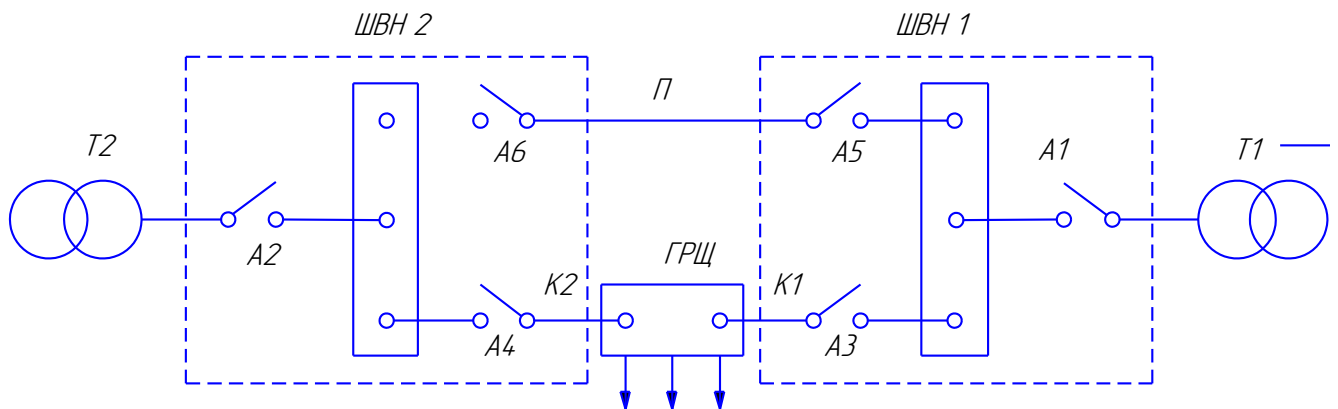


Рисунок 3.2 – Схема функціональна системи електропостачання механічного цеху з резервуванням: Т1, Т2 – силові трансформатори; ШВН1, ШВН2 – шафи силові; К1, К2 – кабелі, П – шина-перемичка; ГРЩ1 – розподільчий щит споживачів.

В системах другого типу структурна схема не показує повністю логіку виникнення відмов у системі. Це може бути тому, що працездатність будь-якого шляху між полюсами системи залежить від працездатності елементів, що лежать на іншому шляху, а структурна схема цю залежність не відображає. Другою причиною, що ускладнює логіку роботи системи є правила керування структурою.

Врахування цих правил призводить до того, що не всі працездатні шляхи можна використати для зв'язку вихідного полюсу з вхідним з-за різного роду обмежень. Тому в загальному випадку потрібен додатковий аналітичний опис умов працездатності (УПЗ). Формалізований аналітичний опис УПЗ є найбільш чітким і однозначним описом системи. Аналітичний опис УПЗ ґрунтується на таких поняттях:

– структурна схема системи – графічне зображення сукупності її структур-них елементів і функціонально-логічних зв'язків між ними,

– структурний елемент системи - умовний еквівалентний елемент, який має кількісні характеристики надійності деякої сукупності послідовно з'єднаних реальних елементів,

– вихід системи позначається через y ,

– стан системи - $y = 1$ – система працездатна, $y = 0$ – система непрацездатна.

– стан системи визначається станом елементів x_1, x_2, \dots, x_n , які в свою чергу так само можуть знаходитися в одному з двох станів – $x = 1$ або $x = 0$.

Функцію алгебри логіки, що з'єднує стан системи станом елементів

$$y(x_1, x_2, \dots, x_n) = y(\bar{x}) \quad (3.11)$$

називають функцією працездатності (ФПЗ) або умовами працездатності (УПЗ).

Якщо функція $y(x_1, x_2, \dots, x_n)$ задовольняє умовам

$$y(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) \leq y(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n) \quad (3.12)$$

де $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n \leq \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ – то функцію називають монотонною або когерентною.

Будь-яка функція алгебри логіки записана через кон'юнкцію і диз'юнкцію (без заперечень) задає деяку монотонну функцію. Для монотонних структур функцію працездатності можна записати за допомогою найкоротших шляхів працездатності (НШП) і мінімальних перетинів відмов (МПВ).

Найкоротший шлях працездатності системи – це така кон'юнкція її елементів, з якої не можна вилучити жодної складової, щоб не порушити умови працездатності, це формалізований у формі ФАЛ опис одного з можливих варіантів виконання задачі системою за допомогою мінімального набору працездатних елементів.

Мінімальний перетин відмов – це така кон’юнкція з заперечень її елементів, з якої не можна вилучити жодної складової, щоб не порушити умови працездатності системи. Кожна надмірна система має кінцеве число НШП і МПВ. Використовуючи введені поняття, запишемо умови працездатності системи у виді диз’юнкції всіх НШП або у виді кон’юнкції заперечень всіх МПВ.

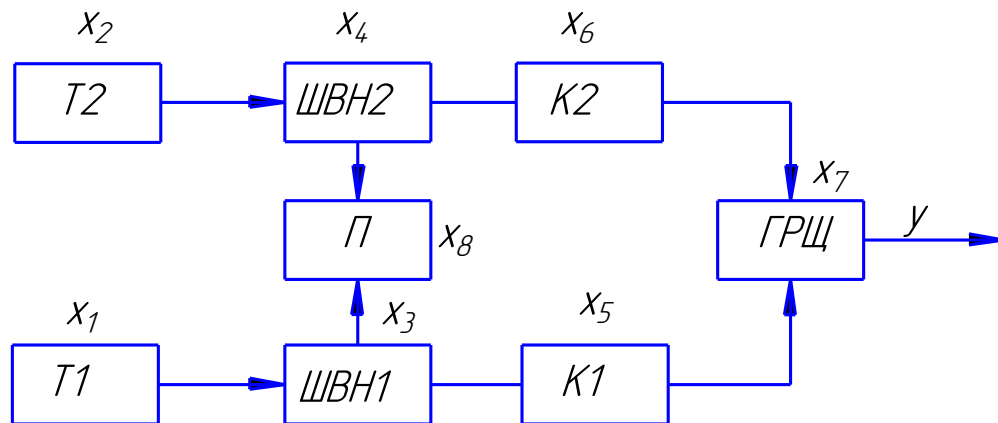


Рисунок 3.3 – Структурна схема системи електропостачання механічного цеху: x_1 і x_2 – трансформатори; x_3 і x_4 – шафи силові; x_5 і x_6 – кабелі; x_7 – головний розподільчий щит; x_8 – перемичка.

Отже

$$y(x_1, x_2, \dots, x_8) = \begin{vmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_1 & x_3 & x_5 & x_7 \\ x_2 & x_4 & x_6 & x_7 \\ x_1 & x_3 & x_8 & x_4 & x_6 & x_7 \\ x_2 & x_4 & x_8 & x_3 & x_5 & x_7 \end{vmatrix} \quad (3.13)$$

$y = 1$, якщо $x_1 = 1, x_3 = 1, x_5 = 1, x_7 = 1$, або

$x_2 = 1, x_4 = 1, x_6 = 1, x_7 = 1$, або

$x_1 = 1, x_3 = 1, x_4 = 1, x_6 = 1, x_7 = 1, x_8 = 1$, або

$x_2 = 1, x_3 = 1, x_4 = 1, x_5 = 1, x_7 = 1, x_8 = 1$.

Умови працездатності записані у виді диз'юнкції її НШП, їх можна записати також у виді кон'юнкції МПВ, а саме

$$y(x_1, x_2, \dots, x_8) = |\bar{S}_1, \bar{S}_2, \bar{S}_3, \dots, \bar{S}_{10}| = |x_7 \left| \begin{array}{c|c} x_1 & x_2 \\ \hline x_2 & x_4 \end{array} \right| x_3 \left| \begin{array}{c|c} x_3 & x_4 \\ \hline x_3 & x_4 \end{array} \right| x_5 \left| \begin{array}{c|c} x_4 & x_5 \\ \hline x_5 & x_6 \end{array} \right| x_6 \left| \begin{array}{c|c} x_5 & x_6 \\ \hline x_6 & x_8 \end{array} \right| \left. \begin{array}{c|c} x_1 & x_2 \\ \hline x_6 & x_5 \\ \hline x_8 & x_8 \end{array} \right| \quad (3.14)$$

Система не відмовить ($y = 1$), якщо не відмовлять елементи: x_7 , (x_1 або x_2), (x_1 або x_4), (x_2 або x_3), (x_3 або x_4), (x_3 або x_6), (x_4 або x_5), (x_5 або x_6), (x_1 або x_6 або x_8), (x_2 або x_5 або x_8).

Умови працездатності можна зобразити у вигляді розгорнутих структурних схем, зображених на рис. 3.4 а та 3.4 б.

Для аналізу надійності необхідно від функцій працездатності перейти до ймовірнісної функції. Ймовірнісною функцією називають ймовірність істинності ФАЛ, тобто необхідно отримати аналітичний вид функції для знаходження ймовірності

$$P\{y(x_1, x_2, \dots, x_n) = 1\}. \quad (3.15)$$

Перехід від функцій працездатності до ймовірнісної функції можна здійснити різними методами, а саме:

- матричним методом складання функцій працездатності на ЕОМ,
- табличним методом,
- методом розрахунку за алгоритмом ортогоналізації,
- схемно-логічним методом, в основі якого лежить складання релейно-контактних схем,
- методом алгоритму розрізання.

Останній метод заснований на теоремі розкладання функції алгебри логіки, згідно з якою ФАЛ шляхом винесення якої-небудь змінної та її заперечення можна зобразити у вигляді

$$y(x_1, x_2, \dots, x_n) = x_i \cdot y_1^{(i)}(x_1, \dots, 1, \dots, x_n) \vee x_i' \cdot y_0^{(i)}(x_1, \dots, 0, \dots, x_n) \tag{3.16}$$

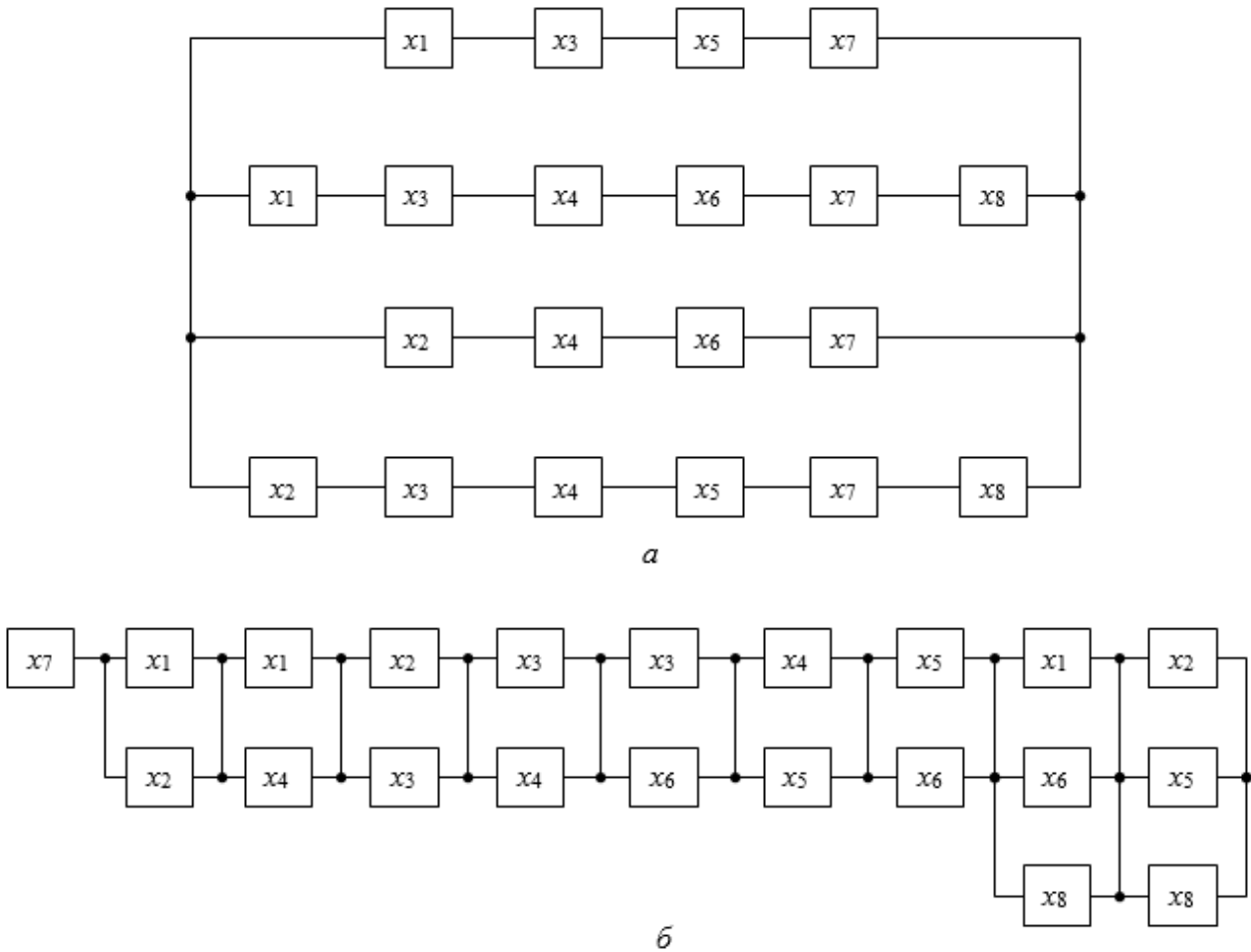


Рисунок 3.4 – Структурні схеми системи, отримані з функції умов працездатності

Таким чином, якщо аргумент x_i функції $y \in$ сукупно двійковою змінною, то шляхом перетворення переходимо до диз'юнкції двох несумісних висказувань. Причому, до першого висказування аргумент x_i входить своїм ствердженням x_i , а до другого – запереченням x_i' . Функції y_1 і y_0 відрізняються від y тим, що в них замість аргументу x_i поставлені відповідно 1 і 0. Відповідно

до цього вибрані індекси у функції y_1 і y_0 . Теорема розкладання дозволяє звести мостову структурну схему до послідовно-паралельних структур.

Застосовуючи алгоритм розрізання, отримуємо імовірнісну функцію системи у наступному вигляді

$$\begin{aligned}
 P\{y(x_1, x_2, \dots, x_n) = 1\} &= \sum_{i=1}^m P(H_i) \cdot P(y/H_i) = P\{x_7 = 1\} \cdot P\{y^* = 1\} = P\{x_7 = 1\} * \\
 &* \left[P(H_1) \cdot P(y^*/H_1) + P(H_2) \cdot P(y^*/H_2) + P(H_3) \cdot P(y^*/H_3) + P(H_4) \cdot P(y^*/H_4) \right] = \\
 &= P\{x_7 = 1\} \cdot \left[P\{x'_8 = 1\} \cdot P\{y_0 = 1\} + P\{x_8 \cdot x'_3 = 1\} \cdot P\{y_{10} = 1\} + \right. \\
 &\left. + P\{x_8 \cdot x_3 \cdot x'_4 = 1\} \cdot P\{y_{110} = 1\} + P\{x_8 \cdot x_3 \cdot x_4 = 1\} \cdot P\{y_{111} = 1\} \right]
 \end{aligned} \tag{3.17}$$

Якщо відмови елементів у системі можна вважати незалежними подіями, то

$$\begin{aligned}
 P\{x_7 = 1\} &= R_7; \\
 P\{x'_8 = 1\} &= Q_8 \cdot P\{y_0 = 1\} = 1 - (1 - R_1 R_3 R_5) (1 - R_2 R_4 R_6); \\
 P\{x_8 x'_3 = 1\} &= R_8 \cdot Q_3; \\
 P\{y_{10} = 1\} &= R_2 R_4 R_6; \quad P\{x_8 x_3 x'_4 = 1\} = R_8 R_4 \cdot Q_4; \\
 P\{y_{110} = 1\} &= R_1 R_5; \quad P\{x_8 x_3 x_4 = 1\} = R_3 R_4 R_8; \\
 P\{y_{111} = 1\} &= (1 - Q_1 \cdot Q_2) (1 - Q_5 \cdot Q_6) .
 \end{aligned} \tag{3.18}$$

Якщо вважати, що всі елементи мають однакову надійність $P(t) = R$, тобто $R_1 = R_2 = R_3 = R_8 = R = 0,9$, то ймовірність безвідмовної роботи системи можна отримати за кінцевою формулою

$$\begin{aligned}
 P\{y = 1\} &= R \{ (1 - R) \cdot [1 - (1 - R^3) (1 - R^3)] + R (1 - R^3) \cdot R^3 + R^2 (1 - R) + R^3 [1 - \\
 &(1 - R^2)] \} = 2R^4 + 2R^6 - 5R^7 + 2R^8 = 2 \cdot 0,9^4 + 2 \cdot 0,9^6 + 2 \cdot 0,9^8 - 5 \cdot 0,9^7 = \\
 &= 1,31 + 1,06 + 0,86 - 2,39 = 0,84.
 \end{aligned} \tag{3.19}$$

3.2 Техніко-економічне обґрунтування вибору силових трансформаторів на КТП

Технічні дані варіантів трансформаторів заносимо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні дані силових трансформаторів від «Укрелектроапарат» [16]

Тип трансформатора	S_n , кВА	ΔP_x , кВт	ΔP_k , кВт	I_o , %	U_k , %	K_z	K , грн	n , шт
ТМЗ 1000/10/0,4	1000	1,1	10,5	1,2	5,5	0,834	190000	1
2хТМГ-630/10/0,4	630	0,8	6,5	1,9	6	0,662	120000	2

Коефіцієнт приведених втрат, K_v , кВт/кВАр 0,02

Тризмінна робота, T , год 6400

Амортизаційні відрахування, P_a , % 6,3

Відрахування на ремонт при P_p , % 5

Нормативний коефіцієнт ефективності, E_n 0,15

Ціна за електроенергію, C_o , грн.кВт*год 2,89

Розрахунки проводимо у програмі EXCEL та подаємо у додатку Б. Результати розрахунку наведемо у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняльний розрахунок варіантів силових трансформаторів для КТП

Тип силового трансформатора	ΔQ_x , кВАр	ΔQ_k , кВАр	$\Delta P_1'$, кВт	ΔE , кВт*год	$C_{втр}$, грн	C_a , грн	C_p , грн	C , грн	Z , грн
ТМЗ 1000/10/0,4	12	55	9,40	60214	174018	11970	9500	195488	223988
2хТМГ-630/10/0,4	11,97	37,8	8,43	54007	156080	15120	12000	183200	219200

З таблиці можемо бачити, що експлуатаційні, і приведені витрати по другому варіанту дещо менші. Приймаємо до встановлення на КТП два трансформатори типу ТМГ потужністю 630 кВА.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Заходи з техніки безпеки при експлуатації електрообладнання у механічному цеху

Забезпечення здорових і безпечних умов праці залежить від неухильного виконання всіх вимог законодавства, норм, правил і інструкцій з техніки безпеки і виробничої санітарії. Забезпечення безпечної експлуатації електроустановок здійснюється згідно з обов'язковими, для всіх споживачів електроенергії, Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів та Правилами техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів.

Обслуговування електрообладнання та діючих електроустановок, проведення в них оперативних переключень, організація та виконання ремонтних, монтажних, налагоджувальних робіт і випробувань здійснюються спеціально підготовленим електротехнічним персоналом.

Роботи в діючих електроустановках з врахуванням заходів безпеки поділяються на ті, що виконуються:

- зі зняттям напруги;
- без зняття напруги на струмоведучих частинах і поблизу них;
- без зняття напруги на віддалі від струмоведучих частин, котрі знаходяться під напругою.

До робіт, виконуваних зі зняттям напруги, відносяться роботи, котрі виконуються в електроустановці, в якій зі всіх струмоведучих частин знята напруга і вхід в приміщення сусідньої електроустановки, котра знаходиться під напругою, закритий.

До робіт, виконуваних без зняття напруги на струмоведучих частинах та поблизу них, відносяться роботи, котрі проводяться безпосередньо на цих частинах.

До заходів, що забезпечують безпеку робіт, які виконуються зі зняттям напруги, відносяться:

- необхідні вимкнення та заходи, які запобігають подачі напруги до місця роботи, внаслідок помилкового або довільного ввімкнення комутаційної апаратури;
- вивішування на приводах ручного та на ключах дистанційного керування комунікаційної апаратури (автомати, рубильники, вимикачі) забороняючих плакатів;
- перевірка відсутності напруги на струмоведучих частинах;
- накладання заземлення;
- вивішування попереджувальних плакатів, огороження, при необхідності, робочих місць та струмоведучих частин, які залишилися під напругою.

Для дотримання безпечних умов праці виробничого персоналу цеху, при експлуатації електрообладнання, необхідне дотримання наступних вимог:

- освітлення повинно відповідати вимогам нормативів;
- приміщення повинно мати природну та примусову вентиляцію;
- всі обертові частини електродвигунів та іншого обладнання повинні закриватися кожухами;
- всі металеві частини електрообладнання, які в нормальному стані не знаходяться під напругою, проте можуть потрапити під напругу внаслідок пошкодження ізоляції, повинні бути заземлені.

Забезпечення електробезпеки в механічному цеху здійснюється за допомогою спеціального інвентарю (таблиця 4.1).

4.2 Протипожежні заходи у механічному цеху

Забезпечення пожежної безпеки не менш важливе завдання, ніж забезпечення безпеки працівників від ураження електричним струмом.

Таблиця 4.1 – Відомість інвентарю

№ п/п	Найменування захисних засобів	Кількість	U, кВ	Експлуатаційні випробування		Періодичність	
				U, кВ	Термін, хв	Випробувань	Оглядів
1	Ізолююча штанга	1	До 10	≤40	5	1 раз в 2 роки	Перед використанням
2	Ізолюючі кліщі	1	До 1	2	5	1 раз в рік	Перед використанням
3	Вказівник напруги вище 1000 В	1	До 10	≤40	5	1 раз в рік	Перед використанням
4	Вказівник напруги до 1000 В	2	До 1	2	1	1 раз в рік	Перед використанням
5	Діелектричні рукавиці, пар	4	До 10	6	1	1 раз в 6 міс.	Перед використанням
6	Діелектричні боти, пар	1	До 10	15	7,5	1 раз в 3 роки	Перед використанням
7	Захисні окуляри, пар	2	До 10	6	1	1 раз в 6 міс.	Перед використанням
8	Комплект інструменту з ізольованими ручками	2	До 1	2	1	1 раз в рік.	Перед використанням
9	Переносні заземлення	2	-	-	-	При виготовлені	Перед встановленням
10	Комплект переносних плакатів	2	-	-	-	-	Перед використанням
11	Аптечка переносна	1	-	-	-	-	Перед використанням

Перш за все у приміщеннях на видних місцях біля телефонів слід розмістити таблички із зазначенням номеру телефону для виклику пожежної охорони. Евакуаційні шляхи і виходи повинні утримуватися вільними, нічим не захащуватися і в разі виникнення пожежі забезпечувати безпеку під час евакуації всіх людей, які перебувають у приміщеннях будівлі.

Багато пожеж виникає внаслідок несправностей та порушень правил експлуатації електротехнічних, електронагрівальних приладів, пристроїв та устаткування. В більшості випадків такі пожежі виникають як результат коротких замикань в електричних ланцюгах, перегріву та займання речовин і

матеріалів, розташованих у безпосередній близькості від нагрітого електроустаткування, струмових перевантажень проводів та електричних машин, великих перехідних опорів тощо. Відповідно, несправності в електромережах та електроапаратурі, які можуть викликати іскріння, коротке замикання, нагрів горючої ізоляції кабелів і проводів, повинні негайно ліквідуватися. Пошкоджену електромережу потрібно відключати до приведення її в пожежобезпечний стан. Електродвигуни, світильники, проводи та розподільні пристрої треба регулярно, не рідше одного разу на місяць, а в запиленних приміщеннях - щотижня, очищати від пилу.

З метою запобігання виникнення пожежі не дозволяється:

- експлуатація кабелів і проводів з пошкодженою або такою, що в процесі експлуатації втратила захисні властивості, ізоляцією;
- залишення під напругою кабелів та проводів з неізольованими струмопровідними жилами;
- влаштування та експлуатація тимчасових електромереж (винятком можуть бути тимчасові ілюмінаційні установки і електропроводки, які живлять місця проведення будівельних, тимчасових ремонтно-монтажних та аварійних робіт).

В цеху забороняється зберігання бензину, гасу, масел та інших легкозаймистих речовин. Промаслений обтирочний матеріал, здатний до само загорання, необхідно зберігати в закритих ящиках з відділеннями для чистого і використаного матеріалу

Цех обов'язково забезпечується первинними засобами пожежогасіння у відповідності із встановленими нормами Правил пожежної безпеки.

Баки (бочки) з водою не передбачаються, оскільки приміщення цеху оснащене протипожежним водогоном (пожежні гідранти).

Таблиця 4.2 – Відомість протипожежного інвентарю

№ п/п	Найменування інвентарю	Одиниця вимірювання	Кількість
1	Протипожежний щит	комплект	1
	- вогнегасник	шт.	3
	- ящик з піском	шт.	1
	- покривало із негорючого матеріалу 2х2 м	шт.	1
	- гаки	шт.	3
	- лопати	шт.	2
	- лом	шт.	2
	- сокири	шт.	2
2	Ящик з піском і совковою лопатою	шт.	4
3	Вогнегасник порошкові (в-на заряду 5 кг)	шт.	5
4	Вогнегасник вуглекислотний (місткість 5 л)	шт.	5
5	Плакати по пожежній безпеці	комплект	3
6	Вказівники місць паління	шт.	3

4.3 Ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій

Проблема запобігання виникнення надзвичайних ситуацій техногенного походження та ліквідації їх наслідків в Україні є однією з найактуальніших.

Незважаючи на велику кількість заходів, які здійснюються для забезпечення надійного функціонування промислових об'єктів, неможливо повністю виключити ризик виникнення аварійних ситуацій техногенного характеру.

Не випадково у статті 8 Закону України “Про Цивільну оборону України” наголошено, що “Керівництво підприємств, установ та організацій незалежно від форм власності і підпорядкування забезпечує своїх працівників засобами індивідуального та колективного захисту, організовує здійснення евакуаційних заходів, створює сили для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та забезпечує їх готовність до практичних дій, виконує інші заходи з ЦО і несе пов’язані з цим матеріальні та фінансові витрати”.

До рятувальних робіт відносять:

- розвідка маршруту руху сил, визначення обсягу та ступеню руйнувань, розмірів зон зараження, швидкості і напрямку розповсюдження зараженої хмари чи пожежі;
- локалізація та гасіння пожеж на маршруті руху сил та ділянках робіт;
- визначення об'єктів і населених пунктів, яким безпосередньо загрожує небезпека;
- визначення потрібного угруповання сил і засобів запобігання і локалізації небезпеки;
- пошук уражених та звільнення їх з-під завалів, пошкоджених та палаючих будинків, із загазованих та задимлених приміщень;
- розкриття завалених захисних споруд та рятування з них людей;
- вивіз або вивід населення із небезпечних місць у безпечні райони;
- організація комендантської служби, охорона матеріальних цінностей і громадського порядку;
- відновлення життєздатності населених пунктів та об'єктів;
- санітарна обробка уражених, знезараження одягу, взуття, засобів індивідуального захисту, територій, споруд, а також техніки;
- соціально-психологічна реабілітація населення.

Основними заходами щодо захисту населення є:

- оповіщення про небезпеку;
- використання засобів захисту;
- дотримання режимів поведінки;
- евакуація з небезпечних у безпечні райони;
- здійснення санітарно-гігієнічної, протиепідемічної профілактики і надання медичної допомоги;
- локалізація аварій, зупинка чи заміна технологічного процесу виробництва;
- попередження (запобігання) і гасіння пожеж.

На другому етапі проводять:

- пошук потерпілих, витягання потерпілих з-під завалів, з палаючих будинків, пошкоджених транспортних засобів;
- евакуація людей із зони лиха, аварії, осередку ураження;
- надання медичної допомоги;
- санітарна обробка людей, знезараження одягу, майна, техніки, території;
- надання потерпілим першої допомоги та евакуація їх (при необхідності) у лікувальні заходи.

На третьому етапі вирішуються завдання щодо забезпечення життєдіяльності населення у районах, які потерпіли від наслідків НС:

- відновлення чи будівництво житла;
- відновлення енерго-, тепло-, водо- та газопостачання, ліній зв'язку;
- організація медичного обслуговування;
- забезпечення продовольством і предметами першої необхідності;
- знезараження харчів, води, фуражу, техніки, майна, території;
- соціально-психологічна реабілітація;
- відшкодування збитків;

Відновлювальні роботи ЦО не виконує, їх здійснює спеціально створені підрозділи (бригади). Залежно від рівня надзвичайної ситуації (загальнодержавного, регіонального, місцевого, чи об'єктового) для проведення РіНР залучають сили та засоби ЦО центрального, регіонального або об'єктового підпорядкування.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано показники надійності основних елементів систем електропостачання та визначено, що дуже важливим техніко-економічним показником є безвідмовність в роботі.

2. Складені функціональна та структурна схеми існуючої системи електропостачання механічного цеху з одним джерелом живлення -цеховим силовим трансформатором потужністю 1000 кВА, та отримано показник ймовірності безвідмовної роботи $P(t) = 0,66$.

3. Проведено модернізацію системи електропостачання механічного цеху: здійснено розрахунки електричних навантажень, вибрано потужність та кількість силових трансформаторів цехової КТП - 2 ТМГ- 630/10/0,4.

4. Проведено розрахунок розподільчої електромережі механічного цеху: вибрано шинопроводи та кабелі, що живлять електрообладнання; вибрано комутаційні та захисні апарати. Проведена компенсація реактивної потужності та розраховано заземлюючий пристрій.

5. Здійснено вибір оптимальної схеми освітлювальної мережі механічного цеху та прийнята комбінована система освітлення на базі сучасних світлодіодних світильників High Bay. Проведено вибір типу щитка освітлення та перетину проводів живлення джерел світла. Потужність освітлювального навантаження зменшилася з 21,12 кВт до 6,16 кВт.

6. Проведено дослідження надійності системи електропостачання механічного цеху з паралельним резервуванням від двох джерел живлення (ТМГ-630/10) методом алгебри логіки. Ймовірність безвідмовної роботи системи становить $P(t) = 0,84$.

7. Розглянуто заходи з техніки безпеки при експлуатації електрообладнання та протипожежні заходи у механічному цеху.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Клачко В. В. Підвищення надійності системи електропостачання механічного цеху / Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 25-26 листопада 2020 року. — Т. : ТНТУ, 2020. –Том II – С.109
2. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підручник / А. В. Журахівський, С. В. Казанський, Ю. П. Матеєнко, О. Р. Пастух. – Київ. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 456 с. – Бібліогр. : с. 450-452.
3. Показники надійності. Моделі розподілу відмов [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/lekcija-6-pokaznyky-nadijnosti-modeli-rozpodilu-vidmov>
4. Визначення ймовірності безвідмовної роботи технологічної системи [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/pr-6-vyznachennja-jmovirnosti-bezvidmovnoyi-roboty-tehnolohichnoyi-systemy>
5. Рожков П. П. Конспект лекцій з дисципліни «Надійність електричних мереж» для магістрів денної та заочної форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (освітні програми «Електротехнічні системи електроспоживання» та «Електротехнічні системи електроспоживання (освітньо-наукова)») / П. П. Рожков, С. Е. Рожкова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 85 с.
6. Правила улаштування електроустановок [Текст]. — 3-тє вид., перероб. і доп. — Х. : Форт, 2010. — 732 с.
7. Федоров А. А. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий / А. А. Федоров, Г. В. Сербеновський. — М. : Энергоатомиздат, 1980.

8. Василега П. О. Електропостачання [Текст] : навч. посіб. для вищ. навч. закл. / П. О. Василега. - Суми : Університетська книга, 2008. - 415 с.
9. Енергозберігаючі світлодіодні системи освітлення / В. Б. Корбут, М. Г. Ієвлєв, В. Г. Бутко // [Науково-технічна інформація](#). - 2013. - № 2. - С. 42 -49. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/NTI_2013_2_10
10. Кнорринг Г. М. Справочник для проектирования электрического освещения [Текст] : справочное издание / Г. М. Кнорринг. - 6-е изд., перераб. - Л. : Энергия, 1968. - 391 с.
11. Рожкова Л. Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций [Текст] : учебник / Л. Д. Рожкова, Л. К. Карнеева, Т. В. Чиркова. - 5-е изд., стер. - М. : Академия, 2008 (Тверь). - 447 с.
12. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств [Текст] : підручник / В.Є Шестеренко. – Вінниця : Нова Книга, 2004. – 656 с.
13. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.gorsvet.kiev.ua/wp-content/uploads/2016/08>
14. Проектирование кабельных сетей и проводок [Текст] / П. И. Анастасиев [и др.] ; под общ. ред. Г. Е. Хромченко. — М. : Энергия, 1980. — 382 с.
15. Комплектные конденсаторные установки [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://electrocontrol.com.ua/elektroshhitovoe-oborudovanie/kondensatornye-ustanovki-aku-04>
16. Укрелектроапарат. Трансформатори - ТМ-10...6300 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://uea.com.ua/product/tm>
17. Решетник В. Я. Введення в теорію надійності: навчальний посібник / В. Я. Решетник - Тернопіль.: ТДТУ, 2003. - 73 с.
18. Супрун Т. П. Визначення показників надійності системи електропостачання за експериментальними даними при раптових відмовах [Електронний ресурс] / Т. П. Супрун // Системи озброєння і військова техніка: Харків. – 2008. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/1305>.

19. Економіка підприємства [Текст] : навч. посіб. / за заг. ред. Л. С. Шевченко ; Нац. ун-т "Юрид. акад. України ім. Я. Мудрого". — Х. : Право, 2011. — 208 с.

20. ДНАОП 1.8.10-4.01-80. Єдина система організації робіт з охорони праці [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://dnaop.com/html/43661_23.html

21. Гандзюк М. П. Основи охорони праці [Текст] : підручник / М. П. Гандзюк, Є. П. Желібо, М. О. Халімовський ; за ред. М. П. Гандзюка. - 2-ге вид. - К. : Каравела, 2004. - 406 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А1 – Розрахунок навантаження електроприймачів механічного цеху

№ п/п	Найменування	Кількість	Р уст, кВт		Кв	m	cosφ	tgφ	Середня потужність		п _{сф}	Км	Розрахункова потужність		
			однієї	загальна					ΣP _{ср}	ΣQ _{ср}			P	Q	S
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I група ШРА - 1															
1	Машина для литва під тиском А711А08	4	28	112	0,40		0,80	0,75							
2	Піч плавки алюмінію	4	45	180	0,70		0,95	0,33							
3	Термопластавтомат ДЕ 3330	2	17	34	0,40		0,80	0,75							
4	Термопластавтомат ДЕ 3132	2	13	26	0,40		0,80	0,75							
По групі		12	103	352	0,38	3,46	0,90	0,48	194,80	93,18	12	1,23	239,60	93,18	257,08
II група ШРА - 2															
1	Термопластавтомат ДЕ 3132	4	13	52	0,40		0,80	0,75							
2	Прес гідравлічний 500 т ДА 2238Б	2	48	96	0,40		0,80	0,75							
По групі		6	61	148	0,40	3,69	0,80	0,75	59,2	44,40	6	1,66	98,27	48,84	109,74
III група ШРА - 3															
1	Машина гідроабразивної різки	1	12	12	0,35		0,60	1,33							
2	Прес гідравлічний 160 т ДГ 2432А	4	23	92	0,40		0,80	0,75							
3	Прес поетапний ДА 4436	4	37	148	0,35		0,80	0,75							
4	Прес гідравлічний 100 т ДЕ 2430	2	19	38	0,35		0,60	1,33							
5	Термопластавтомат ДЕ 3132	1	13	13	0,40		0,80	0,75							
По групі		12	104	303	0,25	3,08	0,76	0,86	108,55	93,01	12	1,36	147,63	93,01	174,49

Продовження таблиці А1

IV група ШРА - 4															
1	Прес гідравлічний 160 т ДГ 2432А	10	23	230	0,40		0,80	0,75							
2	Вулканізатор	1	60	60	0,70		0,95	0,33							
3	Шприцпрес	1	7	7	0,35		0,60	1,33							
4	Вальцювальна машина	1	7	7	0,35		0,60	1,33							
5	Прес механічний 100 т КД 2130	9	13	117	0,25		0,60	1,33							
6	Прес механічний 40 т КД 2126Е	10	7	70	0,25		0,60	1,33							
По групі		32	117	491	0,38	8,57	0,77	0,82	185,65	151,55	16	1,28	237,63	151,55	281,85
V група ШУ - 1															
1	Піч відпалювання ОКБ-84	1	85	85	0,50	-	0,95	0,33	42,50	14,03	1	1,43	60,78	19,98	63,98
VI група СП - 1															
1	Заточний верстат ЗБ625	1	4	4	0,14		0,55	1,52							
2	Заточний верстат ЗБ632	1	5,5	5,5	0,14		0,55	1,52							
3	Заточний верстат ЗА64М	2	5,5	11	0,14		0,55	1,52							
4	Заточний верстат ЗБ652	1	5,5	5,5	0,14		0,55	1,52							
5	Вертикально-свердлувальний верстат 2А125	1	4	4	0,17		0,60	1,33							
6	Плоскошліфувальний верстат ЗБ71Е	1	13	13	0,17		0,60	1,33							
7	Плоскошліфувальний верстат ЗБ722	1	17	17	0,17		0,60	1,33							
По групі		8	54,5	60	0,16	4,25	0,58	1,40	9,42	13,22	7	2,48	23,36	14,54	27,52
VII група ШРА - 5															
1	Токарно-револьверний верстат 1341	22	7	154	0,20		0,60	1,33							
2	Токарно-гвинторізний верстат 1К62	9	8	72	0,17		0,65	1,17							
3	Токарно-гвинторізний верстат 1А64	5	7	35	0,17		0,65	1,17							
По групі		36	22	261	0,19	1,14	0,63	1,27	48,99	62,25	36	1,31	64,18	62,25	89,41
VIII група ШРА - 6															
1	Пружиннонавивний верстат А522	2	7	14	0,20		0,65	1,17							
2	Різьбонакатний верстат 5А933	1	5,5	5,5	0,20		0,65	1,17							
3	Болторізний верстат 5Д07	2	7	14	0,20		0,65	1,17							
4	Токарний автомат 1А136	5	7	35	0,20		0,65	1,17							
5	Токарний автомат 1А137	5	7	35	0,20		0,65	1,17							

Продовження таблиці А1

6	Горизонтально-фрезерний верстат 6М82	6	14,8	88,8	0,16		0,60	1,33							
7	Вертикально-свердлувальний верстат 5А05	6	1,1	6,6	0,17		0,60	1,33							
8	Вертикально-свердлувальний верстат 2А125	4	2,8	11,2	0,17		0,60	1,33							
9	Вертикально-свердлувальний верстат 2А135	2	4	8	0,17		0,60	1,33							
По групі		33	56,2	218,1	0,18	13,5	0,63	1,25	39,29	48,95	7	2,29	89,98	48,95	102,44
	По цеху	140		1918,1	0,36	>3	0,84	0,66	514,65	371,81	95	1,15	791,66	520,59	947,49
	Освітлення						0,95	0,33					6,16	2,03	6,48
	По цеху з освітленням						0,83	0,62					797,82	522,62	953,75
	Компенсація реактивної потужності													-330,00	
	РАЗОМ з урахуванням компенсації						0,97	0,24					797,82	192,62	821

Додаток Б

Техніко-економічне порівняння варіантів силових трансформаторів

Тип трансформатора	Sn, кВА	ΔP_x , кВт	ΔP_k , кВт	I_0 , %	U_k , %	K_z	K, грн	n, шт
ТМЗ 1000/10/0,4	1000	1,1	10,5	1,2	5,5	0,834	190000	1
2хТМГ-630/10/0,4	630	0,8	6,5	1,9	6	0,662	120000	2

Коефіцієнт приведених втрат, K_v , кВт/кВАр	0,02
Тризмінна робота, T, год	6400
Амортизаційні відрахування, P_a , %	6,3
Відрахування на ремонт при P_p , %	5
Нормативний коефіцієнт ефективності, E_n	0,15
Ціна за електроенергію, C_0 , грн.кВт*год	2,89

Тип силового трансформатора	ΔQ_x , кВАр	ΔQ_k , кВАр	$\Delta P_1'$, кВт	ΔE , кВт*год	Свтр, грн	C_a , грн	C_p , грн	C, грн	З, грн
ТМЗ 1000/10/0,4	12	55	9,4084496	60214,0774	174018,7	11970	9500	195488,7	223988,7
2хТМГ-630/10/0,4	11,97	37,8	8,43859693	54007,0203	156080,3	15120	12000	183200,3	219200,3

Додаток В

Таблиця В.1 – Вибір провідників для підключення технологічного обладнання

№ п/п	Електроприймач		Провідник				Апарати керування і захисту		
	Найменування, тип	I_p , А	Марка, переріз жил	$I_{доп}$, А	l , м	ΔU , %	Тип	I_n , А	$I_{реал}$, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Група 1 (ШРА-1)									
1	Машина для литва під тиском А711А08	53	АПВ-4 (1 x 16)	55	6	-	А 3710 Б	160	80
2	Піч плавки алюмінію	72	АПВ-4 (1 x 35)	85	6	-	А 3710 Б	160	100
3	Термопластавтомат ДЕ 3330	32	АПВ-4 (1 x 10)	39	6	-	А 3710 Б	160	40
4	Термопластавтомат ДЕ 3132	25	АПВ-4 (1 x 4)	28	6	-	А 3710 Б	160	32
Група 2 (ШРА-2)									
1	Термопластавтомат ДЕ 3132	25	АПВ-4 (1 x 6)	28	8	-	А 3710 Б	160	32
2	Прес гідравлічний 500 т ДА 2238Б	91	АПВ-4 (1 x 50)	120	8	-	А 3710 Б	160	125
Група 3 (ШРА-3)									
1	Машина гідроабразивної різки	30	АПВ-4 (1 x 10)	39	10	-	А 3710 Б	160	40
2	Прес гідравлічний 160 т ДГ 2432 А	44	АПВ-4 (1 x 16)	55	8	-	А 3710 Б	160	63
3	Прес поетапний ДА 4436	70	АПВ-4 (1 x 25)	70	8	-	А 3710 Б	160	80
4	Прес гідравлічний 100 т ДЕ 2430	36	АПВ-4 (1 x 10)	39	9	-	А 3710 Б	160	40
5	Термопластавтомат ДЕ 3132	25	АПВ-4 (1 x 6)	30	6	-	А 3710 Б	160	32
Група 4 (ШРА-4)									
1	Прес гідравлічний 160 т ДГ 2432 А	44	АПВ-4 (1 x 16)	55	5	-	А 3710 Б	160	63
1а	Прес гідравлічний 160 т ДГ 2432 А	44	АПВ-4 (1 x 16)	55	10	-	А 3710 Б	160	63
2	Вулканізатор	90	АПВ-4 (1 x 50)	120	5	-	А 3710 Б	160	125
3	Шприцпрес	18	АПВ-4 (1 x 4)	23	7	-	А 3710 Б	160	32
4	Вальцювальна машина	18	АПВ-4 (1 x 4)	23	10	-	А 3710 Б	160	32
5	Прес механічний 100 т КД 2130	33	АПВ-4 (1 x 6)	39	8	-	А 3710 Б	160	40
5а	Прес механічний 100 т КД 2130	33	АПВ-4 (1 x 6)	39	5	-	А 3710 Б	160	40
6	Прес механічний 40 т КД 2126 Е	18	АПВ-4 (1 x 4)	23	8	-	А 3710 Б	160	32
6а	Прес механічний 40 т КД 2126 Е	18	АПВ-4 (1 x 4)	23	5	-	А 3710 Б	160	32

Продовження таблиці В1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Група 5 (ШУ-1)									
1	Піч відпалювання	136	АПВ-4 (1 x 70)	140	28	-	А 3710 Б	160	160
Група 6 (СП-1)									
1	Заточний верстат 3Б625 Заточний верстат 3Б632 Заточний верстат 3Б652	34	АПВ-4 (1 x 10)	39	13	-	А 3710 Б	160	40
2	Заточний верстат 3А64М	15	АПВ-4 (1 x 2,5)	19	5	-	А 3710 Б	160	20
2а	Заточний верстат 3А64М	15	АПВ-4(1 x 2,5)	19	8	-	А 3710 Б	160	20
3	Вертикально-свердлувальний верстат 2А125	10	АПВ-4 (1 x 2,5)	19	7	-	А 3710 Б	160	20
4	Плоскошліфувальний верстат 3Б71Е	33	АПВ-4 (1 x 10)	39	6	-	А 3710 Б	160	40
5	Плоскошліфувальний верстат 3Б71Е	43	АПВ-4 (1 x 16)	55	11	-	А 3710 Б	160	50
Група 7 (ШРА-5)									
1	Токарно-револьверний верстат 1341	18	АПВ-4 (1 x 2,5)	19	5	-	А 3710 Б	160	20
1а	Токарно-револьверний верстат 1341	18	АПВ-4 (1 x 2,5)	19	7	-	А 3710 Б	160	20
16	Токарно-револьверний верстат 1341	18	АПВ-4 (1 x 2,5)	19	9	-	А 3710 Б	160	20
2	Токарно-гвинторізний верстат 1К62	19	АПВ-4 (1 x 2,5)	19	5	-	А 3710 Б	160	20
2а	Токарно-гвинторізний верстат 1К62	19	АПВ-4 (1 x 2,5)	19	7	-	А 3710 Б	160	20
26	Токарно-гвинторізний верстат 1К62	19	АПВ-4 (1 x 2,5)	19	9	-	А 3710 Б	160	20
3	Токарно-гвинторізний верстат 1А64	17	АПВ-4 (1 x 2,5)	19	5	-	А 3710 Б	160	20
3а	Токарно-гвинторізний верстат 1А64	17	АПВ-4 (1 x 2,5)	19	7	-	А 3710 Б	160	20

Продовження таблиці В1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
36	Токарно-гвинторізний верстат 1А64	17	АПВ-4 (1 x 2,5)	19	9	-	А 3710 Б	160	20
Група 8 (ШРА-6)									
1	Пружинно навивний верстат А522	17	АПВ-4 (1 x 2,5)	19	7	-	А 3710 Б	160	20
2	Різьбонакатний верстат 5А933 Болторізний верстат 5Д07	42	АПВ-4 (1 x 10)	55	13	-	А 3710 Б	160	63
3	Токарний автомат 1А136	16	АПВ-4 (1 x 2,5)	19	5	-	А 3710 Б	160	20
4	Токарний автомат 1П12	16	АПВ-4 (1 x 2,5)	19	8	-	А 3710 Б	160	20
5	Горизонтально-фрезерний верстат 6М82	37	АПВ-4 (1 x 10)	39	5	-	А 3710 Б	160	40
5а	Горизонтально-фрезерний верстат 6М82	37	АПВ-4 (1 x 10)	39	8	-	А 3710 Б	160	40
6	Вертикально-свердлувальний верстат 5А05 (4 шт.)	11	АПВ-4 (1 x 2,5)	19	13	-	А 3710 Б	160	20
7	Вертикально-свердлувальний верстат 2А125 (4 шт.)	28	АПВ-4 (1 x 6)	30	13	-	А 3710 Б	160	32
8	Вертикально-свердлувальний верстат 2А135 (4шт.)	34	АПВ-4 (1 x 10)	39	13	-	А 3710 Б	160	40