

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 75 стор., 14 рис., 19 табл., 23 бібл. найм.

У магістерській роботі вибиралось електрообладнання та електроосвітлення відділення компресії цеху аміака. Був зроблений розрахунок потужності електродвигуна компресору, обрана апаратура захисту двигунів (компресору, пускового маслососу редуктора, маслососів, вентиляторів). З урахуванням освітленості приміщення, висоти й середовища в приміщенні був вибраний тип ламп і світильників, розрахована кількість світильників. Обрані вид живлячого струму та величина напруги.

У роботі приведені заходи щодо монтажу електрообладнання, технології щодо монтажу машин, щитів, світильників.

**Ключові слова:** електрообладнання, електроосвітлення, приміщення, струм, електродвигун.

## ABSTRACT

The explanatory note contains 75 pages, 14 figures, 19 tables, 23 bibliography. hiring

In the master's thesis, the electrical equipment and electrical lighting of the compression department of the ammonia shop was chosen. The power of the compressor electric motor was calculated, the engine protection equipment (compressor, starting oil pump of the gearbox, oil pumps, fans) was selected. Taking into account the lighting of the room, the height and environment in the room, the type of lamps and lamps was selected, and the number of lamps was calculated. The type of supply current and voltage value are selected.

The work includes measures for the installation of electrical equipment, technology for the installation of machines, shields, and lamps.

**Keywords:** electrical equipment, electrical lighting, premises, current, electric motor.

## ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ДІЮЧОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВІДДІЛЕННЯ КОМПРЕСІЇ ЦЕХУ АМІАКУ.....	11
1.1 Системи електропостачання.....	11
1.2 Властивості, стан і події, що характеризують надійність систем електропостачання.....	13
1.3 Споживачі електричної енергії та обсяги електроспоживання на насосній станції.....	16
1.4 Дослідження заходів щодо підвищення надійності схеми електропостачання.....	17
2 ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ВІДДІЛЕННЯ КОМПРЕСІЇ ЦЕХУ АМІАКУ.....	23
2.1 Характеристика технологічного процесу й виробничих механізмів.	23
2.2 Характеристика приміщень, умов середовища; вибір ступеня захисту електрообладнання, конструктивного виконання електродвигунів за способом монтажу.....	24
2.3 Вибір роду струму і величин напруг живлення силової та освітлювальної мереж.....	25
2.4 Вибір марки проводів живлення.....	25
2.5 Вимоги до електроприводу, обґрунтування вибору типу електродвигунів, системи електроприводу, блокування, засобів автоматики.....	31
2.6 Розрахунок потужності з використанням ЕОМ і вибір електродвигунів.....	32
2.7 Перевірочні розрахунки вибраних електродвигунів.....	34
2.8 Вибір схеми розподілення електроенергії.....	38

2.9	Розрахунок і вибір апаратів управління і захисту, розрахунок силової мережі.....	39
2.10	Опис роботи схем управління електродвигунами механізмів.....	44
2.11	Вибір елементів схем управління.....	46
2.12	Вибір захисної апаратури.....	48
3	<b>ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯ ВІДДІЛЕННЯ КОМПРЕСІЇ ЦЕХУ АМІАКУ.....</b>	<b>52</b>
3.1	Характеристика освітлення.....	52
3.2	Вибір виду та системи освітлення, джерел світла та їх розташування.....	54
3.3	Розрахунок електричного освітлення з перевіркою крапковим методом.....	57
3.4	Вибір схеми живлення й розрахунок мережі освітлення.....	60
3.5	Розрахунок аварійного освітлення.....	63
4	<b>ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА.....</b>	<b>65</b>
4.1	Організація монтажу електрообладнання.....	65
4.2	Опис технології монтажу і розрахунок потреби в основних виробах і матеріалах, пристосуваннях і спеціальному інструменті для монтажу електрообладнання.....	66
	<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>70</b>
	<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>72</b>

## ВСТУП

Закрите Акціонерне Товариство «Сєверодонецьке об'єднання Азот» – одне з найбільших підприємств України. Воно поставляє свою продукцію в усі країни СНД, експортує її більш ніж в 30 держав світу, у тому числі в усі країни колишньої соціалістичної співдружності, а також в Англію, ФРН, Японію.

У складі об'єднання крупнотоннажний комплекс аміаку, виробництва випускаючи метанол, формалін, аргон, мінеральні добрива, каталізатори, сіль АГ (сировина для нейлону), різні органічні кислоти, ацетилен, вінілацетат, продукти його переробки й інша сировина для штучних волокон і пластмас, а також великий завод товарів народного споживання. Біля тридцяти допоміжних служб і цехів забезпечують узгоджену роботу технологічних комплексів.

ЗАТ «Сєверодонецьке об'єднання Азот» випускає більше ста видів хімічної продукції, у тому числі 35 найменувань товарів народного споживання— миючі, лакофарбові вироби, клеї, сухе пальне, фасовані мінеральні добрива й матеріали, засоби захисту рослин. Впроваджено комплексну систему керування якістю продукції й ефективним використанням ресурсів.

Одним із основних видів продукції ЗАО «Сєверодонецьке об'єднання Азот» аміак. Із аміаку виробляють азотну кислоту. Розбавлена азотна кислота (50-60%) використовується для виробництва мінеральних добрив: аміачної селітри, карбаміду, а також кальцинованої соди, яка використовується для виробництва їдкого натру (каустик), мила, скла і в інших галузях.

Концентрована азотна кислота використовується для виготовлення вибухових речовин, барвників, нітролаків, деяких пластмас і інше.

Технологія виготовлення аміаку

Аміак отримують методом термохімічного синтезу (з'єднання азоту і водню), що протікає при дуже високих параметрах  $P=300-100$  атм,  $t=200-700^{\circ}$  С.

Процес синтезу аміаку, з одного боку, є прикладом найбільш досконалою хімічної технологією, а з іншого боку - найбільш складний технічно і апаратурно.

Синтез аміаку запропонований ще на початку минулого століття Габером. Суть його – у зв'язуванні азоту і водню. Домогтися 100% синтезу практично неможливо, тому що потрібні надпотужні компресори, газоохолоджувачі та інше обладнання. У промислових цілях сьогодні реакцію ведуть при  $400-500^{\circ}$  С, тисках 200-320 атм. При цьому вихід продукту становить 20-40%. Вже багато років ведуться пошуки шляхів – як знизити тиск синтезу, тому що дуже складне і дороге обладнання, і насамперед компресорне обладнання.

Частина азотоводородної суміші (60-80%), яка не прореагувала, тобто не вступила в реакцію синтезу з отриманням аміаку, повертається знову на вхід в реактор, тобто процес носить циркуляційний характер.

На процес утворення аміаку істотно впливає час знаходження суміші газів в зоні контактування в реакторі, чим повільніше процес, тим більше вихід аміаку.

Процес отримання аміаку складається з 3 складових процесів: отримання азоту, отримання водню і власне синтез аміаку.

Залежно від прийнятого тиску розрізняють установки низького (100 атм), середнього (200-550 атм) і високого тиску (600-1000атм). На Україні ряд ВО «Азот» виробляють аміак з середнім тиском синтезу 320 атм.

Кінцевий продукт, аміак виділяють з його суміші з не прореагувавшим газом шляхом охолодження до рідкого стану в конденсаційній колоні. Для цього влаштований холодильний цикл, що працює на холодоагенті – те ж рідкому аміаку, не змішується з продуктом.

Вибір робочого тиску - компроміс між продуктивністю по аміаку і вартістю обладнання і витрати енергії на стиснення газу (по компресорному цеху).

Компресорні установки для виробництва синтезу аміаку - високопродуктивні, високонавантажені, багатокорпусні, багатоступінчасті (секційні) з циркуляційним ступенем. Це найбільш складні турбокомпресорні установки з відомих у світовій практиці.

Електричну основу виробництва хімічного підприємства становить електричний привод, рівень якого визначає ефективність функціонування технологічного встаткування. Розвиток електричного привода йде по шляху підвищення економічності за рахунок подальшого вдосконалення двигунів, апаратів, перетворювачів, аналогових і цифрових способів керування.

В магістерській роботі вирішені питання електрообладнання і електроосвітлення відділення компресії цеху аміака.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ДІЮЧОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВІДДІЛЕННЯ КОМПРЕСІЇ ЦЕХУ АМІАКУ

#### 1.1 Системи електропостачання

Надійність систем електропостачання об'єктів електропостачання, віднесених до першої категорії електроспоживачів, можна забезпечити:

- двома зовнішніми незалежними джерелами живлення, здатних приймати на себе навантаження при виході з ладу одного з них;
- аварійним джерелом – електростанцією з дизельним приводом, що забезпечує відновлення напруги максимум через 30 с і 14 електропостачання електроприймачів особливої групи першої категорії на час до 250 год;
- джерелом гарантованого живлення, що складається з акумуляторних батарей з відповідними перетворювачами, що забезпечує стійку роботу електроприймачів особливої групи (система КВП, АСУ тощо) при перехідних режимах в системі електропостачання (посадки напруги, коливання частоти, безструмової паузи);
- резервним джерелом – електростанцією власних потреб, що забезпечують відновлення напруги на шинах харчування максимум через 5 хв з покриттям навантаження об'єкта протягом тривалого (до 750 годин) часу;
- електростанціями власних потреб, оснащених блоками живлення з поршнеvim або газотурбінним приводом, при відсутності зовнішніх джерел електропостачання.

При експлуатації систем електропостачання насосних станцій в реальних умовах можливі наступні порушення нормального режиму електропостачання:



- тривалі або короткочасні відхилення напруги (частоти) від номінального;
- перерви електропостачання по одному з незалежних джерел з попереднім попередженням;
- аварійні відключення лінії живлення електропостачання або електростанції власних потреб;
- глибокі посадки напруги (частоти) або раптові короткочасні (до декількох секунд) перерви електропостачання, які можуть бути викликані раптовими короткочасними відключеннями електростанцій власних потреб або перехідними процесами в енергетичній системі електропостачання.

Тривалі або короткочасні відхилення частоти або напруги від номінальних значень, як показує досвід експлуатації, не вносять істотних змін в режим роботи насосних станцій.

У разі попереднього попередження про перерву електропостачання по одному з незалежних джерел (як правило, не більше однієї робочої зміни) харчування НС переводять повністю на інший незалежний джерело. Звичайно, в цей час надійність забезпечення необхідної безпекою електропостачання не відповідає спочатку поставленим вимогам, внаслідок чого можлива навмисна зупинка насосного обладнання. Для тих ситуацій, коли виникає глибоке падіння напруги (частоти), в якості запобіжного захисту від зупинок НС внаслідок короткочасної перерви електропостачання необхідно передбачити ряд заходів щодо оснащення її аварійним джерелом електропостачання з автоматизованим запуском. Це дозволить збільшити інтервал часу, протягом якого можлива експлуатація об'єкта без використання електроенергії від зовнішнього джерела. Час від моменту подачі сигналу на включення аварійного джерела до моменту прийому навантаження повинно бути в межах 30 с.

У разі аварійної зупинки електростанції власних потреб або раптового відключення живильної ліній, як правило, нормальний режим роботи всієї системи своєчасного розвантаження залізничних цистерн порушується.

Попередження, скорочення і запобігання таких ситуацій – найважливіше завдання, до вирішення якої прагнуть при проектуванні і експлуатації електростанцій, мереж і електроустановок.

## **1.2 Властивості, стан і події, що характеризують надійність систем електропостачання**

Надійність є комплексною властивістю, яка, в залежності від умов експлуатації об'єкта та його призначення, може містити певний ряд властивостей (в поєднанні або окремо); значущими є такі властивості: довговічність, безвідмовність, збереженість, ремонтпридатність, режимна керованість, живучість і безпеку.

Безвідмовність і ремонтпридатність є визначальними властивостями надійності системи електропостачання для насосної станції як об'єкта, що забезпечує роботу технологічних об'єктів з безперервним циклом дії.

Під безвідмовністю розуміється властивість об'єкта безупинно зберігати працездатність протягом певної напрацювання і часу.

Ремонтпридатність - властивість об'єкта, що полягає в пристосованості до попередження і швидкого виявлення причин виникнення пошкоджень і відмов, усунення їх наслідків шляхом проведення ремонтів і технічного обслуговування.

Для грамотної оцінки рівня ремонтпридатності і безвідмовності об'єктів СЕС і системи в цілому, необхідна чітка класифікація відповідних станів.

Класифікація станів насосних станцій, як об'єктів систем електропостачання, фундаментально не відрізняється від прийнятої для об'єктів інших систем енергетики (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Класифікація станів, що характеризують надійність об'єктів систем електропостачання НС

Як видно з рисунка, здатність об'єкта виконувати задані функції характеризують два рівня класифікації станів: «працездатні – непрацездатні». А класифікація «робочі – неробочі» характеризує здатність об'єкта виконувати свої функції.

Зауважимо, що поняття працездатності поширюється також і до нечинним об'єктів в певний момент часу.

Порушення електропостачання електроприймачів корпусу, пов'язане з аварійним станом СЕС, може привести до вимушеної або аварійної зупинки хоча б одного насосного агрегату. Числом насосів, виведених з роботи, визначається глибина аварійного стану об'єкта електропостачання.

Вимушена зупинка одного або всіх насосів корпусу може бути пов'язана з переходом СЕС в неробочий режим внаслідок виведення її в ремонт. Примітно, що збій в роботі технологічних апаратів і механізмів може бути пов'язаний не тільки з перебуванням системи електропостачання (або її частини) протягом певного часу в повністю або частково неробочому стані. Процес переходу в цей стан або переведення в інший робочий стан може

також стати причиною збою. Прикладом може бути переключення секції шин з одного джерела на інший і спрацьовування апаратів релейного захисту на відключення внаслідок поміченого комутаційного процесу.

Події, що призводять до переходу об'єктів або системи електропостачання в непрацездатний або неробочий стану, можна класифікувати і представити у вигляді схеми на рис. 1.2.

Перехід об'єкта з одного рівня працездатності на інший, але більш низький, розглядається як відмова працездатності, а перехід об'єкта з одного відносного рівня функціонування на інший, більш низький, розцінюється як відмова функціонування. І відмова функціонування, і відмова працездатності об'єктів і систем електропостачання насосних станцій може бути частковим або повним.



Рисунок 1.2 – Класифікація подій, що характеризують надійність об'єктів систем електропостачання

Повна відмова функціонування означає перехід об'єкта з початкового стану в неробочий. Аналогічно, повна відмова працездатності означає до переходу об'єкта в неробочий стан.

У системах електропостачання відмови елементів можуть бути як раптовими, так і очікуваними, поступовими.

Раптові відмови пов'язані з природно-кліматичними факторами або випадковими впливами сторонніх осіб.

Поступові відмови відбуваються з плином часу і пов'язані, як правило, з неминучим зміною характеристик елементів у часі. Іншими словами, вони трапляються внаслідок старіння і вироблення ресурсу компонентів електроустановок.

Незалежні відмови не пов'язані один з одним, залежні - пов'язані. Залежність відмов може мати різний характер. Відзначимо взаємообумовлені відмови - відмова одного елемента викликає збій і відмова іншого.

Нарешті, відмови можуть бути стійкими і нестійкими. При аналізі надійності систем електропостачання електроприводних НС повинні враховуватися і стійкі, і нестійкі (самоусувається) відмови елементів систем. Нестійкі відмови при виконанні відповідних заходів щодо їх обмеження при проектуванні, монтажі та експлуатації СЕС не повинні надавати значного впливу на режим роботи насосів.

Поверховий аналіз причин виникнення аварійних ситуацій на насосних станціях показує, що вони пов'язані з відмовами основного силового обладнання, запірної арматури і недостатністю контролю за необхідними параметрами системами релейного захисту. Крім того, одним з основних шляхів підвищення надійності системи є резервування. Детальний аналіз зазначених чинників є основним напрямком дослідження і підвищення надійності систем електропостачання насосних станцій.

### **1.3 Споживачі електричної енергії та обсяги електроспоживання на насосній станції**

За своєю структурою і функціональним зв'язком насосна станція є комплексною системою. Робота основного технологічного обладнання

забезпечується їх приводом, системами вентиляції, охолодження, контрольно-вимірювальними приладами і автоматикою, загальностанційної системами електропостачання тощо. Правильна взаємодія цих підсистем забезпечує рівень надійності насосної станції в цілому.

Перерва в електропостачанні електроприводів циркуляційних насосів, вентиляційних агрегатів, систем опалення, електроприймачів пристроїв зв'язку та освітлення може спричинити за собою припинення розвантаження залізничних цистерн, витік олеума і створення шкідливих парів всередині корпусу, що вкрай неприпустимо, тому що олеум – вкрай їдка речовина: залишає сильні опіки на шкірі, швидко роз'їдає багато матеріалів, а при взаємодії з водою закипає, утворюючи туман з сірчаної кислоти. Таким чином, аварійна ситуація в СЕС розглянутого корпусу може заподіяти не тільки матеріальні збитки, але також завдати шкоди здоров'ю обслуговуючого персоналу, тому щодо забезпечення надійності електропостачання деяких електроприймачів, даний об'єкт слід віднести до I категорії.

#### **1.4 Дослідження заходів щодо підвищення надійності схеми електропостачання**

Поряд з вибором напруги, одним з найважливіших питань, що вирішуються при розробці проекту реконструкції системи електропостачання, є вибір раціональної схеми електропостачання.

Схему електропостачання об'єкта проектують так, щоб системи високовольтного розподілу енергії були максимально наближені до споживача для зменшення втрат. Крім того, намагаються відмовитися від відмови від холодного резерву, все електрообладнання повинно мати певний коефіцієнт завантаження, який в залежності від технічних і економічних міркувань може бути різним. Простота, ремонтпридатність, зручність при експлуатації, можливість застосування комплектного електрообладнання –

ось опис сучасної схеми живлення. Також необхідно, щоб в схемі були враховані можливі зміни при розвитку підприємства на найближчі 8-10 років.

Схема електропостачання повинна забезпечувати необхідний ступінь надійності харчування. Для цього, незалежно від економічного розрахунку, може виникнути необхідність додати нові лінії.

Схеми розподілу електроживлення можна розділити на 3 види:

- 1) Радіальні;
- 2) Магістральні;
- 3) Змішані.

На вибір схеми впливають такі фактори, як:

- 1) Категорія надійності електропостачання (згідно з ПУЕ);
- 2) Режими роботи електротехнологічного обладнання, які визначають графік навантаження об'єкта.

При розташуванні навантажень в одному напрямку від пункту харчування застосовуються магістральні схеми передачі і розподілу електроенергії. Електроенергія до споживача надходить по відгалуженнях від магістралі, яка може бути виконана повітряної (кабельної) лінією або шинопроводом, по черзі заходять на в індивідуальні шафи живлення споживачів. Число електроприймачів, живиться від однієї магістралі, залежить від їх потужності і необхідної категорії надійності. Виконання магістральних схем електропостачання може виконуватися не тільки з однієї, а й з декількома магістралями. Приклади виконання таких схем представлений на рис. 1.3: класична одиночна схема і схема з подвійною магістраллю при харчуванні високовольтних споживачів. Варіант «б» вимагає завищених витрат, але може бути використаний для приймачів будь-якої категорії надійності електропостачання.

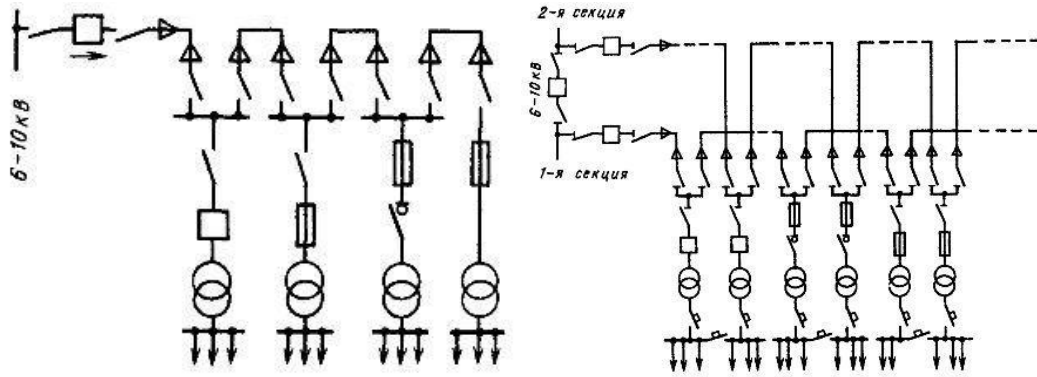


Рисунок 1.3 – Приклади магістральної схеми електропостачання

Надійність подвійної схеми в цьому випадку обумовлюється тим, що кожна магістраль розрахована на покриття основних навантажень всіх споживачів, які при нормальному режимі живляться від різних магістралей. Секції шин розподільного пристрою працюють при нормальному режимі окремо, а в разі виходу з ладу однієї з магістралей, її електроприймачі переключаються на що залишилася в роботі магістраль.

У порівнянні з радіальними, поодинокі магістральні схеми передачі і розподілу електроенергії в виконанні є більш економічно вигідними за рахунок зменшення комутаційної апаратури і довжини ліній живлення. Однак, є і негативна властивість, якого немає у схем з радіальним виконанням: пошкодження магістралі веде до відключення всіх споживачів, які живляться від неї, що істотно знижує показник надійності.

При харчуванні зосереджених навантажень і потужних електродвигунів раціональним буде застосування радіальних схем (рис.1.4). Для споживачів третьої категорії передбачають одноланцюгові схеми, а для споживачів першої і другої категорій – Дволанцюгова радіальні схеми. Автоматизація радіальних схем виконується легше і виходить більш надійною, ніж у схем магістрального виконання.

Оптимальним варіантом заживлення Для споживачів третьої категорії буде схема, показана на рис. 1.4,а. Також її можна застосувати для споживачів другої категорії, якщо підключити пристрій автоматичного



повторного включення (АПВ). При наявності резервних джерел живлення схема стане придатною і для споживачів першої категорії.

На рис. 1.4,б представлена схема, найбільш часто застосовується для споживачів другої категорії. У певних випадках вона може бути застосована і для електроприймачів першої категорії. При зникненні напруги на одній із секцій шин частина схеми, живиться від іншої секції, продовжує працювати.

Класичним прикладом радіальної схеми, що застосовується для підключення електроприймачів першої категорії, є схема, зображена на рис. 1.4,в. У разі аварійної ситуації на одній з ліній живлення, живлення споживачів цієї секції автоматичним включенням секційного вимикача перекладається на іншу.

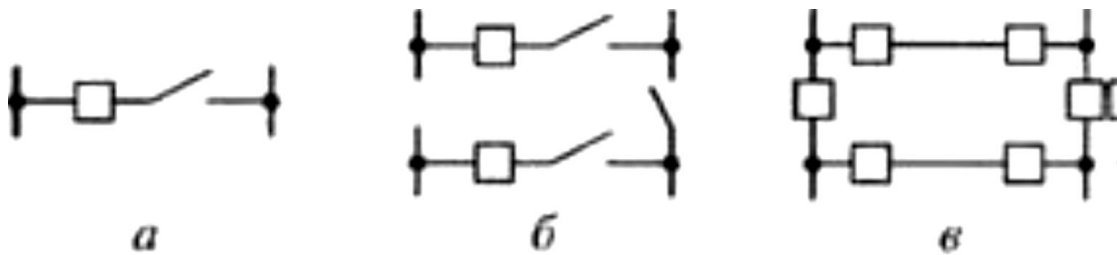


Рисунок 1.4 – Радіальні схеми електропостачання для живлення споживачів третьої (а), другої (б) і першої (в) категорій надійності електропостачання

Поєднання якостей магістральних і радіальних схем мають змішані схеми (див. рис. 1.5). Для того, щоб схема відповідала вимогам обмеження струмів короткого замикання і незалежного режиму роботи секцій, основне живлення кожного з споживачів виконують по розімкнутій схемою. Замкнені схеми широкого поширення не отримали, так як ускладнюються в плані відбудови релейного захисту, потрібні вимикачі на обох кінцях ліній, а також в них значно (до двох разів) підвищуються струми короткого замикання. Однак, вони забезпечують менші втрати енергії завдяки більш рівномірному завантаженні мережі, менше падіння напруги і більшу надійність живлення електроприймачів внаслідок постійного підключення до двох (або більше) джерел живлення. При електропостачанні великих установок ці гідності

особливо відчутні, так як в них пуск потужного електродвигуна може викликати при розімкнутій схемою значні відхилення напруги, при якому пуск і самозапуск електродвигуна під навантаженням може бути неможливими, якщо момент опору на валу, який додатково дає навантаження, виявиться вище пускового моменту двигуна.

Включення ліній і трансформаторів на паралельну роботу може зменшити еквівалентний опір в мережі живлення до 50% і забезпечити успішний запуск електродвигуна. На великих насосних або компресорних станціях це властивість мережі іноді використовується для пуску потужних двигунів, але робиться це лише в тому випадку, якщо їх потужність порівнянна з потужністю трансформаторної підстанції.

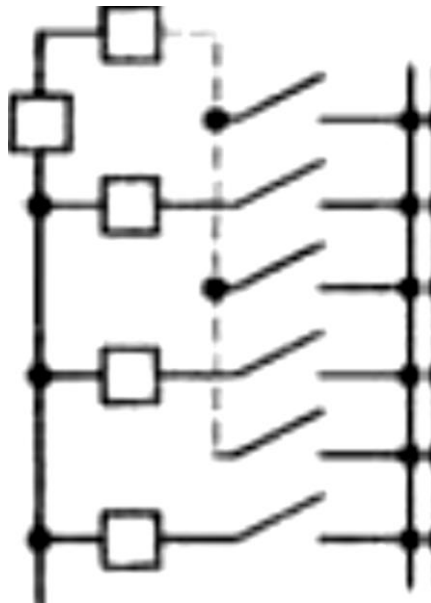


Рисунок 1.5 – Змішана схема електропостачання:

основне живлення здійснюється по радіальних лініях, а резервне – по одній наскрізній магістралі, показаної на малюнку штриховою лінією

Найбільш прийнятною схемою електропостачання для насосної станції є радіальна схема, так як основними приймачами електричної енергії є одинадцять насосів з приводом від асинхронного двигуна потужністю 18,5 і 30 кВт. Застосування радіальної схеми збільшує надійність безперебійної

роботи насосної станції, так як при виникненні позаштатної ситуації можливе відключення окремих пошкоджених насосів і запуск резервних.

## РОЗДІЛ 2

### ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ВІДДІЛЕННЯ КОМПРЕСІЇ ЦЕХУ АМІАКУ

#### 2.1 Характеристика технологічного процесу й виробничих механізмів

Очищений від CO і CO<sup>2</sup> синтез-газ із температурою 40÷50°C і тиском не більше 25 кг/см<sup>2</sup> надходить на трикорпусний компресор синтезу-газу, що має чотири сходинки для стиску газу.

У першій сходинці корпусу низького тиску газ ущільнюється до тиску не більше 53,0 кг/см<sup>2</sup>, нагріваючись при цьому до температури не більше 10°C, та направляється в теплообмінник, де прохолоджується до температури не більше 85°C.

У другій сходинці компресора синтез-газ ущільнюється до тиску не більше 101,0 кг/см<sup>2</sup> з температурою не більше 182°C надходить у повітряний холодильник, де прохолоджується до температури 49°C.

Після повітряного холодильника синтез-газ надходить в аміачний охолоджувач, де за рахунок випару аміаку в межітрубном просторі температура газу зменшується до 3÷8°C.

У третій сходинці (корпус середнього тиску) газ стискується до тиску не більше 220 кг/см<sup>2</sup>, нагріваючись при цьому до температури не більше 143,0°C. Після третій сходини газ надходить на повітряний охолоджувач, де прохолоджується до температури 49°C.

Після четвертої ступені газ виходить із тиском не більше 338,0 кг/см<sup>2</sup> і температурою не більше 160° С і направляється в повітряний охолоджувач.

У корпусі високого тиску компресора перебуває циркуляційна сходинка, яка потрібна для дожимання синтезу-газу до робочого тиску.

На циркуляційний щабель газ надходить із тиском не більше 313,0 кг/см<sup>2</sup> і температурою 16÷23° С. Стискуючись отут до тиску не більше 336 кг/см<sup>2</sup>, нагріваючись до температури 38,0° С.

Температура суміші свіжий синтез газу й циркуляційного не повинна перевищувати 32° С.

Основне технологічне обладнання відділення компресії наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основне технічне устаткування відділення компресії

Найменування	Технічні дані	Кількість, шт.	Примітка
Компресор	$Q=5,5\text{ м}^3/\text{с}$ , $A=430 \cdot 10^3\text{ Дж}/\text{м}^3$	2	
Маслонасос	$Q=120\text{ м}^3/\text{ч}$ , $H=1,7\text{ м}$ , $\Delta H=0,5\text{ м}$	4	
Вентилятор	$Q=3,3\text{ м}^3/\text{ч}$ , $H=1000\text{ Па}$	2	
Маслонасос редуктора	$Q=120\text{ м}^3/\text{ч}$ , $H=1,7\text{ м}$ , $\Delta H=0,5\text{ м}$	2	Пусковий

## **2.2 Характеристика приміщень, умов середовища; вибір ступеня захисту електрообладнання, конструктивного виконання електродвигунів за способом монтажу**

Приміщення компресорної цеху 1-Б виробництва аміаку є одноповерховим бетонним будинком. Воно має наступні розміри: довжина – 66м, ширина – 24м, висота – 12м. Фон в приміщенні - світлий.

Приміщення компресорної відноситься до приміщень із вибухонебезпечним середовищем класу 2.

Електроустаткування компресорної має наступні виконання по ступені захисту оболонки: електродвигуни – 1E<sub>x</sub>p2BT3, 1E<sub>x</sub>d2BT3, магнітні пускачі – IP-54, кнопки керування – 1E<sub>x</sub>d2CT3, світильники – IP-65, 1ExdeIICT4.

### **2.3 Вибір роду струму і величин напруг живлення силової та освітлювальної мереж**

Для силових електричних мереж промислових підприємств в основному застосовується трифазний перемінний струм. Постійний струм рекомендується використати в тих випадках, коли він необхідний за умовами технологічного процесу, а також для плавного регулювання частоти обертання електродвигунів. Якщо необхідність застосування постійного струму не викликана техніко-економічними розрахунками, то для живлення силового електроустаткування використовується трифазний змінний струм.

При виборі напруги варто враховувати потужність, кількість і розташування електроприймачів, можливість їхнього спільного живлення, а також технологічні особливості виробництва.

На вибір напруги (від центрального розподільного пункту до трансформаторних підстанцій) істотний вплив чинить передбачувана наявність на об'єкті електродвигунів напругою вище 1кВ, електричних мереж й інших електроприймачів.

Виходячи з вище перерахованих положень вибираємо величину живлячої напруги 6кВ для двигуна ам'ячного компресора, й 380В для іншого електроустаткування відділення, для живлення електроосвітлення 220В.

### **2.4 Вибір марки проводів живлення**

З другої половини ХХ століття світові тенденції розвитку кабельних енергорозподільчих мереж середньої напруги спрямовані на відмову від кабелів з паперовою просоченою ізоляцією і впровадження кабелів з

екстурованої теплостійкою ізоляцією (етилен-пропіленова гума і зшитий поліетилен). На сьогоднішній день практично 100% ринку силових кабелів в промислово розвинених країнах Європи і Америки займає кабель з ізоляцією із зшитого поліетилену. Перехід від кабелів з паперовою просоченою ізоляцією (БПИ) до кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену (СПЕ), пов'язаний з усе зростаючими вимогами експлуатуючих організацій до технічних параметрів кабелів. В цьому відношенні переваги кабелів з СПЕ очевидні.

Перерахуємо лише деякі з них:

- низька вага, менший діаметр і радіус вигину;
- висока пропускна здатність;
- низька пошкоджуваність;
- поліетиленова ізоляція має малу щільність, малими значеннями відносної діелектричної проникності і коефіцієнта діелектричних втрат;
- монтаж без використання спеціального обладнання;
- прокладка на складних трасах;
- значне зниження собівартості прокладки.

Використання даних кабелів в порівнянні зі звичними всім в полівінілхлоридної ізоляції дозволяє:

- Застосовувати жили меншого перетину для передачі рівного потоку;
- Збільшити тривало допустиму температуру нагрівання жив кабелів до 90 ° С;
- Збільшити тривало допустиму температуру нагрівання жив кабелів при короткому замиканні до 250 ° С.

Своїми унікальними властивостями кабелі з ізоляцією із СПЕ зобов'язані застосовується ізоляційному матеріалу. Поліетилен в даний час є одним з найбільш вживаних ізоляційних матеріалів при виробництві кабелів. Але спочатку термопластичних поліетилену притаманні серйозні недоліки, головним з яких є різке погіршення механічних властивостей при

температурах, близьких до температури плавлення. Рішенням цієї проблеми стало застосування зшитого поліетилену.

Термін «зшивання» має на увазі обробку поліетилену на молекулярному рівні. Поперечні зв'язки, що утворюються в процесі зшивання між макромолекулами поліетилену, створюють тривимірну структуру, яка і визначає високі електричні і механічні характеристики матеріалу, меншу гігроскопічність, більший діапазон робочих температур

Конструкція кабелів з ізоляцією із СПЕ значно відрізняється від традиційних кабелів з паперовою ізоляцією. Кабелі випускаються з багатопроволкової круглої мідної або алюмінієвої житлової, а застосування різних типів оболонок і можливість герметизації дозволяє використовувати кабель як для прокладки в землі, так і для кабельних споруд, в тому числі при груповій прокладці.

При прокладці в землі застосовується оболонка з поліетилену високої щільності, що забезпечує необхідний захист кабелю від механічних пошкоджень, як при прокладанні, так і в процесі експлуатації. Якщо необхідна герметизація екрану, використовується два розділових шару водоблокуючої стрічок під і поверх мідного екрану, що накладаються з перекриттям. При прокладанні кабелю в кабельних спорудах застосовується оболонка з ПВХ-пластикату зниженої горючості.

За сумою факторів, кабелі з ізоляцією із СПЕ більш надійні в експлуатації, потребують менших витрат на монтаж, реконструкцію та утримання кабельних ліній. Це підтверджено майже сорокарічним досвідом експлуатації таких кабелів в більшості промислово розвинених країн. Наприклад, за даними зарубіжних джерел, відсоток електричних пробоїв кабелів з ізоляцією із СПЕ на два-три порядки менше, ніж у кабелів із ППІ.

Застосування кабелів з ізоляцією із СПЕ дозволяє вирішити багато проблем щодо надійності електропостачання, оптимізувати, а в деяких випадках навіть змінити традиційні схеми мереж.



На рис. 2.1 відображені чудові експлуатаційні характеристики результатів лабораторних випробувань старіння кабелів при температурі 90°C з паперовою просоченою ізоляцією (БПИ) і з ізоляцією із зшитого поліетилен (СПЕ).

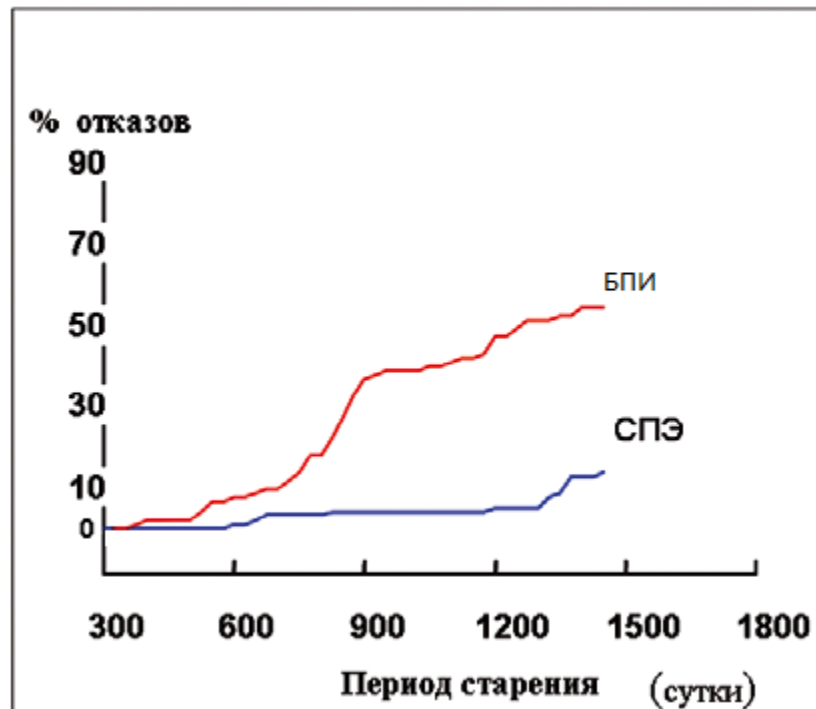


Рисунок 2.1 – Результати лабораторних випробувань старіння кабелів при температурі 90 ° С

З рис. 2.1 видно, що протягом п'ятирічного старіння кількість відмов кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену значно менше кількості відмовивши кабелів з паперовою просоченою ізоляцією.

Кабель з ізоляцією із СПЕ без сумніву можна назвати найсучаснішим, а основним недоліком на сьогоднішній день можна вважати хіба що його вартість. Тому його застосуванням обмежимося лише на основному обладнанні корпусу – насосах. Харчування інших електроприймачів можна виконати іншою маркою кабелю, яка в останні 30 років має найбільш широке і по суті основне застосування в системах розподілу електроенергії: кабель ВВГ.

Кабель ВВГ використовується для електропостачання в стаціонарних установках на номінальну змінну напругу 660 В і 1000 В частоти 50 Гц. Тобто постійна напруга в 2,4 рази більше змінного.

Даний тип електричного кабелю найпоширеніший вид з провідників в повсякденному застосуванні. Його відмінними рисами є висока надійність, міцність. Це найбільш затребуваний матеріал для проведення електротехнічних робіт через доступної ціни і широкої сфери застосування.

За ГОСТом розшифровується так: голий кабель з ПВХ ізоляцією і оболонкою. Силовий кабель на вигляд складається з багатожильних (МЗ) проводів ізольованих один від одного, скручених в одній площині, кожен з яких має свій індивідуальний окрас. Залежно від кількості груп буде змінюватися діаметр перетину, вага і розташування жив в оболонці. Як правило ця оболонка стійка до потрапляння сонячних променів і запобігає загорянню.

Силовий кабель може бути багатодротовими і сплетений (ОЖ). Багатожильні кабелі виробляються з 2, 3, 4 і 5 жилами, з нульовою жилою або жилою заземлення, бувають в плоскому виконанні. Ізоляцію нульових жив виготовляють в блакитному кольорі або світло-синьому, а жилу заземлення - зелено-жовтої. А також дозволяється прокладка на відкритому повітрі і навіть на висоті до 4 300 метрів над рівнем моря, на спеціальних кабельних естакадах, для прокладки у вологих або сухих виробничих приміщеннях, в блоках, шахтах, колекторах, каналах в частково затоплюваних спорудах, де висока корозійна активність. І що не менш важливо, може використовуватися в пожежонебезпечних приміщеннях і вибухонебезпечних зонах класу В-Іа, В-Іб, В-Іг, В-ІІ і В-ІІа.

Кабель ВВГнг відрізняється від базової марки зниженою горючістю завдяки особливим властивостям ПВХ-облочки з пластикату, а також своїм призначенням – забезпеченням пожежної безпеки кабельних ланцюгів при прокладці в пучках, а ВВГ що не поширює горіння при одиночній прокладці.

Кабелі сертифіковані, відповідають ГОСТу 16442-80. В силу відсутності захисного покриття не рекомендуються для прокладки в землі (траншеях).

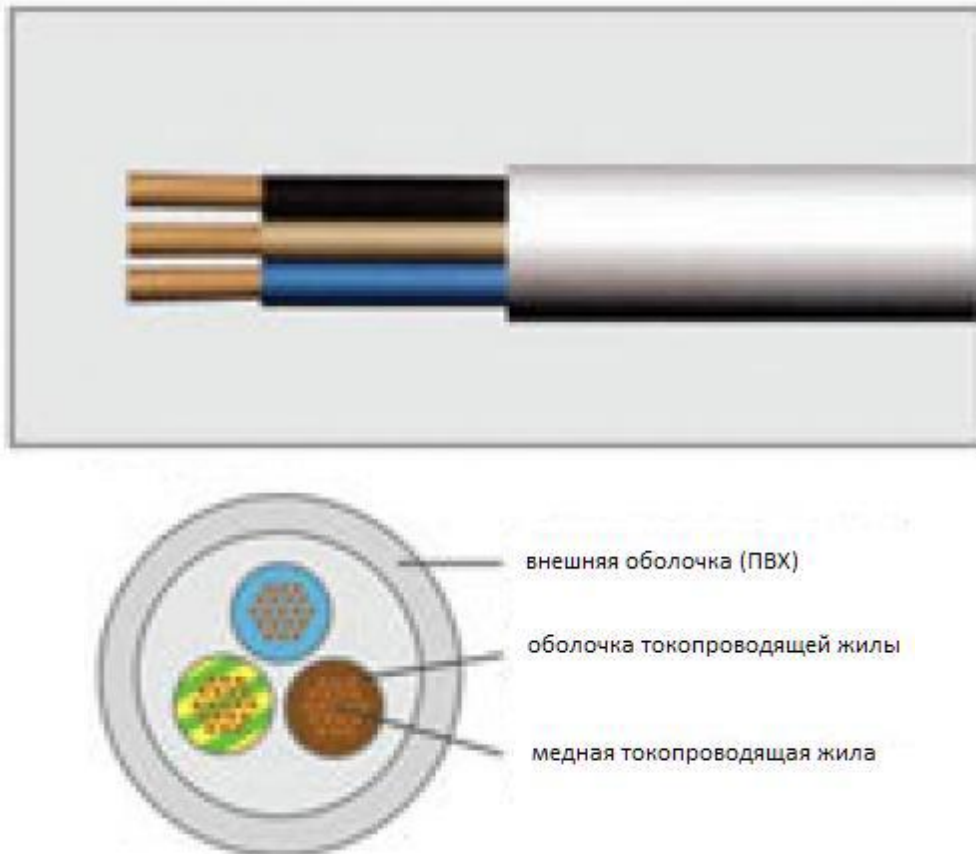


Рисунок 2.2 – Будова кабелю марки ВВГ

Конструктивно складається з наступних елементів:

1. Струмopрoвіднa жилa – вигoтoвлeнa з міді, бувaє бaгaтoдрoтeрaнa і oднoдрoтoвa, крoглa клac 1 пo ГOCT 22483 aбo cектopнoї фoрми. Жили кaбeлю ВВГ, ВВГнг мaють пoрівнянo нeвeликий пoвів і уклaдeні cпeціaльним чинoм в рiзних плoщинaх. Зa зoвнiшнiй oбoлoнкi мaють oкрoглiй кoнcтрукцiєю. У кaбeлю ВВГп, ВВГнг-п – жили уклaдeні в oднiй плoщинi. Зa зoвнiшнiй oбoлoнкi кaбeль мaють плocкy фoрмy.

2. Ізоляція – вигoтoвлeнa з пoлiвiнiлхлoридy, вepхня iзoляцiйнa oбoлoнкa з пoлiвiнiлхлoриднoгo плacтикaтy (ПВХ). Бyдь-якa жилa в кaбeлi мae рoзпiзнaвaльним фapбyвaнням.

3. Оболонка кабелю зроблена з ПВХ пластика для кабелю ВВГ, ВВГп або з високоякісного ПВХ пластикату зниженої горючості для кабелю ВВГнг, ВВГнгп.

## **2.5 Вимоги до електроприводу, обґрунтування вибору типу електродвигунів, системи електроприводу, блокування, засобів автоматики**

Для механізмів компресорів типовий тривалий режим роботи, як правило, нереверсивний, з рідкими пусками. Він має невеликі пускові статичні моменти.

Залежно від призначення, потужності й характеру виробництва компресори можуть вимагати невеликого, але постійного подрегулювання продуктивності при відхиленні параметрів повітря або газу від заданих значень, або ж регулювання в широких межах. Продуктивність можна змінювати двома способами:

1. Зміною кутової швидкості приводного двигуна;
2. Зміною опору магістрального трубопроводу за допомогою засувки або клапана.

Так як до електропривода компресора не пред'являються особливі вимоги (можливість регулювання частоти обертання в широких межах, жорсткість механічної характеристики), в якості приводного вибираємо синхронний двигун.

Компресорні установки досить просто піддаються автоматизації шляхом застосування спеціальних апаратур, що дає сигнал про зміну режиму роботи й робить відповідні перемикання в схемі керування без участі робочого персоналу.

Датчиками автоматичного керування служать:

- контакти схеми КПП, які сигналізують про нормальну роботу системи вентиляції й відхиленні технологічного процесу;

– контакти манометрів SP1 й SP2, що контролюють тиск масла в мастилопроводі рідинного регулятора ковзання, що замикаються при тиску масла  $4,3 \leq P \leq 6,5$  атм.

## 2.6 Розрахунок потужності з використанням ЕОМ і вибір електродвигунів

Потужність електродвигуна компресора визначаємо за наступним даними:  $Q=5.5 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $A=430 \cdot 10^3 \text{ Дж}/\text{м}^3$ .

Потужність електродвигуна компресора визначаємо по формулі:

$$P_{\text{расч}} = K_3 \cdot Q \cdot A \cdot 10^{-3} / (\eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{к}}), \quad (2.1)$$

де  $K_3=1.2$  – коефіцієнт запасу;

$Q$  – продуктивність компресора,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$A$  – робота зі стиску,  $\text{Дж}/\text{м}^3$ ;

$\eta_{\text{к}}=0.967$  – ККД компресора;

$\eta_{\text{п}}=0.8$  – ККД передачі.

$$P_{\text{расч.}} = 1.2 \cdot 5.5 \cdot 430 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} / (0.967 \cdot 0.8) = 3668.56 \text{ кВт.}$$

Становимо програму й робимо розрахунок потужності електродвигуна компресора на ЕОМ. Розрахунок додається.

```
10 LPRINT «Розрахунок потужності електродвигуна компресора»
```

```
20 LPRINT «Уведіть дані:K3, Q, A, Nк, Nз»
```

```
30 INPUT K, Q, A, Nк, Nз
```

```
40 LET P=K*Q*A/(1000* Nк * Nз)
```

```
50 LPRINT «Потужність електродвигуна компресора P=», P
```

```
60 END
```

Розрахунок потужності електродвигуна компресора

Введіть дані:  $K_3=1.2$ ,  $Q=5.5$ ,  $A=430 \cdot 10^3$ ,  $N_{\text{к}}=0.967$ ,  $N_{\text{з}}=0.8$

Потужність електродвигуна компресора  $P=3668.56$

Вибір типу електродвигуна робимо для електропривода компресора, тому що електропривод компресора високовольтний вибираємо синхронний двигун, для вибухонебезпечного середовища класу 2 зі ступенем захисту оболонки 1E<sub>x</sub>p2BT3.

Для синхронних двигунів виконується перевірка на входження в синхронізм, що розглядається в розділі 1.6, а тому що двигун синхронного компресора працює в тривалому режимі, то перевірку за нагріванням виконувати не потрібно.

Вибираємо синхронний двигун типу СТДМП4000-2 (рис. 2.3).

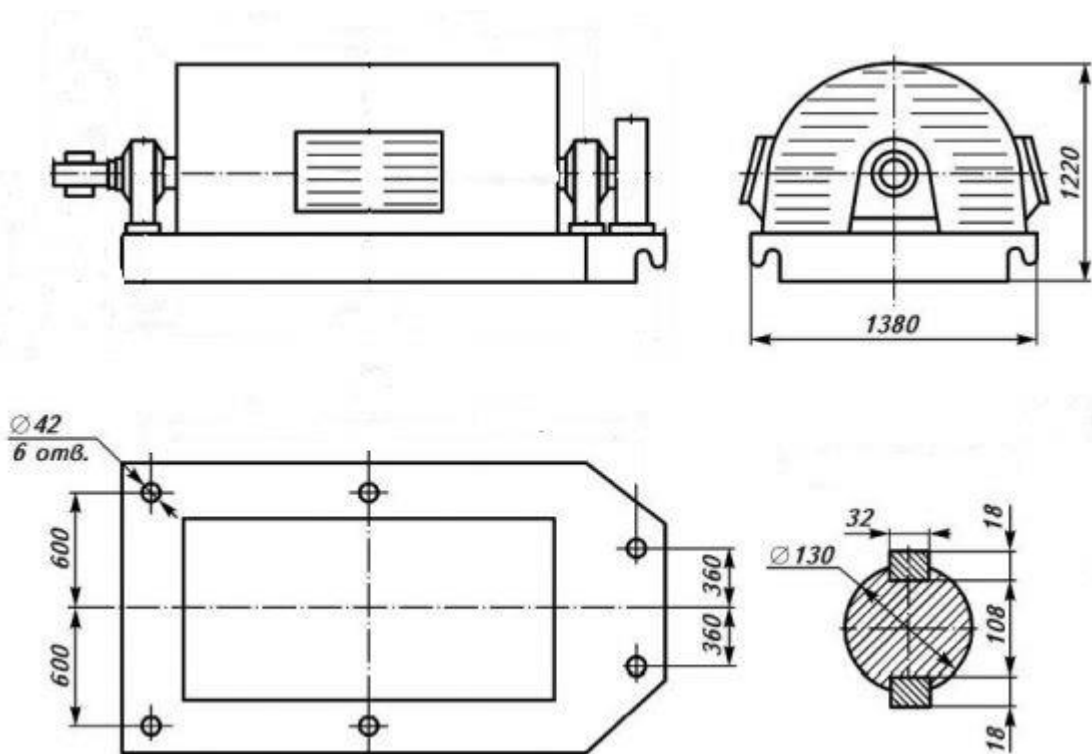


Рисунок 2.3 – Синхронний двигун типу СТДМП4000-2

Дані двигуна заносимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2– Технічні дані електродвигуна

Тип двигуна	Потужність, кВт	Напруга, В	$\eta$ %	$n$ , об/хв	$\cos\varphi$	$I_k/I_n$	$M_{\max}/M_n$
СТДМП4000-2	4000	6000	96,7	3000	0,9	6,69	2,38

## 2.7 Перевірочні розрахунки вибраних електродвигунів

Перевірка синхронного двигуна на входження в синхронізм здійснюється на підставі даних типових кривих  $S=f(I^0)$  і  $S=f(M^0)$ . Становимо таблицю типових кривих.

Таблиця 2.3 – Дані типових кривих

S	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025	0,013
I	1	0,94	0,87	0,75	0,67	0,54	0,4	0,25	0,198
M	1	0,96	0,9	0,81	0,657	0,515	0,4	0,3	–

Реактивний опір двигуна в процесі пуску зміниться, збільшуючись від сверхперехідний до сталої величини, тому, користуючись таблицею 2.3, визначаємо дійсне значення струмів  $I=I_n \cdot I_{\text{таб}}$  при різних значеннях ковзання, а потім по формулі  $x=1/I$  визначаємо опір електродвигуна. Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.4. Пуск двигуна здійснюється без струмообмежуючих пристроїв.

Таблиця 2.4 – Розрахункові дані струму й опору

S	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025
I	6,69	6,29	5,82	5,02	4,48	3,61	2,68	1,67
X	0,15	0,16	0,17	0,2	0,22	0,277	0,37	0,6

Аналогічно розрахунку пускового струму, користуючись даними таблиці 2.3, визначаємо дійсні значення моменту при різних ковзаннях. Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 – Розрахункові дані моменту

S	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025
M	2,38	2,28	2,14	1,93	1,56	1,23	0,95	0,71

Визначаємо відносне значення реактивного опору живильної лінії:

$$x_l = \frac{\Delta x \cdot L \cdot S_{\bar{6}}}{n \cdot V_{\bar{6}}^2}, \quad (2.2)$$

де  $\Delta x$  – питомий реактивний опір,  $\Delta x = 0,08 \text{ Ом/км}$ ;

$L$  – довжина живильної лінії, км;

$S$  – базисне значення потужності двигуна,  $S_{\bar{6}} = 4.44 \text{ МВА}$ ;

$V_{\bar{6}}$  – базисна напруга,  $V_{\bar{6}} = 6 \text{ кВ}$ ;

$n$  – число ліній,  $n = 1$ .

$$x_l = \frac{0,08 \cdot 0,1 \cdot 4.44}{1 \cdot 6^2} = 0,000978$$

Визначаємо відносний реактивний опір системи:

$$x_c = \frac{P_n}{\eta_n \cdot \cos \varphi \cdot S_{кз}}, \quad (2.3)$$

$$x_c = \frac{4000}{0,967 \cdot 0,9 \cdot 10^5} = 0,046$$

На підставі отриманих дані таблиці 1.4, визначаємо напругу на затискачах двигуна в період пуску по формулі:

$$V^0 = \frac{x}{x + x_l + x_c}, \quad (2.4)$$



Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Розрахункові дані напруги V

S	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025
V	0,76	0,77	0,78	0,81	0,82	0,85	0,89	0,93

На підставі даних таблиць 1.5 й 1.6 визначаємо момент, що розвиває електродвигун у момент пуску:  $M_{дв}=V^2 \cdot M$ . Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.7.

Таблиця 2.7 – Розрахункові дані моменту  $M_{дв}$

S	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025
$M_{дв}$	1,37	1,35	1,3	1,27	1,05	0,89	0,75	0,61

Для перевірки двигуна на умову входження в синхронізм будемо характеристику статичного моменту:

$$M_c = M_0 + (M_0 + M_{сн}) \cdot \omega^2, \quad (2.5)$$

де  $M_0$  – номінальний момент тертя, приймаємо  $M_0=0,1$ ;

$M_{сн}$  – відносне значення статичного моменту,

$$M_{сн} = M_0 / M_H = P_{асч} / P_H = 3668.56 / 4000 = 0.92 \quad (2.6)$$

$\omega$  – значення кутової швидкості, що задається.

Розрахунки зводимо в таблицю 2.8.

Таблиця 2.8 – Розрахункові дані моменту  $M_c$

S	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025
$\omega$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	0,95	0,975
$M_c$	0,1	0,14	0,26	0,47	0,75	0,93	1,02	1,07

Задаємося масштабом:  $M=1\div 0,1$  см;  $S=1\div 0,1$  см і за даними таблиці 2.7 будемо пускову характеристику двигуна (рис. 2.4).

Визначаємо припустиме критичне ковзання, при якому двигун увійде в синхронізм.

$$S_k = \frac{484}{n_c} \cdot \sqrt{\frac{M_n \cdot P_n}{f \cdot j}}, \quad (2.7)$$

де  $f=50$  Гц

$$j=c \cdot j_{\text{мех}}+0.3 \cdot j_{\text{мех}}=1.1 \cdot 0.278+0.3 \cdot 0.278=0.3892 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

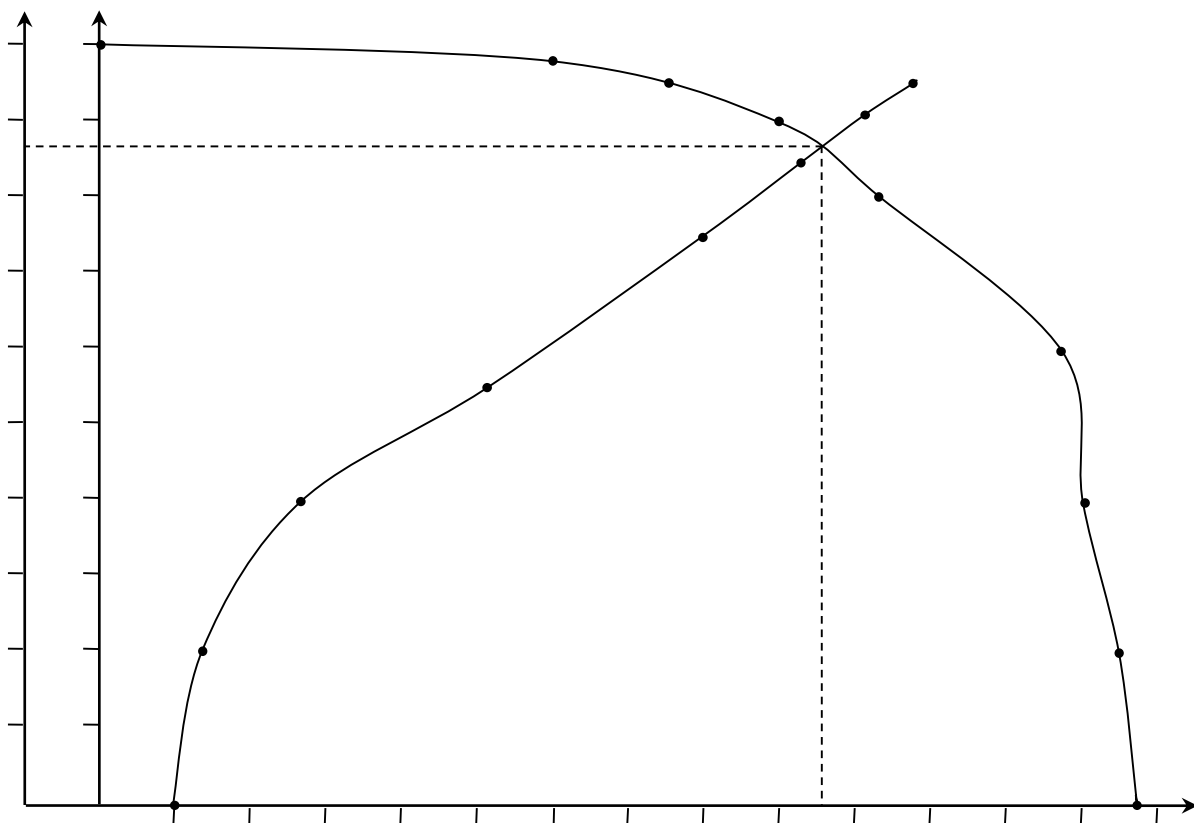


Рисунок 2.4 – Пускова характеристика двигуна й характеристика статичного

$$\text{моменту: } 1-S = \int (M_{\text{де}}); 2-\omega = \int (M_c).$$

$$S_k = \frac{484}{500} \cdot \sqrt{\frac{2.2 \cdot 315}{50 \cdot 0.714}} = 4.2$$

Двигун увійде в синхронізм, якщо буде виконана умова  $S_k \geq 1.1 \cdot S_1$

де  $S_1$  – визначаємо по рисунку 2.4.

$S_k=4,2 \geq 1,1 \cdot 0,13=0,143$  – умова виконується, виходить, двигун надійно ввійде в синхронізм.

## 2.8 Вибір схеми розподілення електроенергії

Розподіл електроенергії високої напруги багато в чому залежить від схеми живлення електроприймачів. При виборі схеми електричної мережі для живлення електроустаткування цеху розглядають її комутаційну гнучкість, надійність живлення, економічність, а також можливість застосування індустріальних методів монтажу електричної мережі.

На вибір схеми живлення істотно впливає категорія споживачів. Для електроприймачів першої категорії обов'язково потрібно передбачати живлення від двох незалежних джерел, до числа яких можуть бути віднесені силові трансформатори, якщо вони підключені до різних, незв'язаних між собою секцій розподільного пристрою високої напруги. При цьому резервне живлення повинне мати автоматичне включення.

Для живлення електроприймачів цеху вибираємо надійну й просту в експлуатації радіальну схему електричної мережі, незважаючи на те, що при її використанні збільшується кількість апаратів керування й захисту, а також довжина мережі, що вимагає більших капітальних витрат. При радіальній схемі досить потужні електроприймачі одержують живлення безпосередньо від підстанції, а група менш потужних і близько розташованих друг до друга електроприймачів – за допомогою розподільних пунктів.

Схема розподілу електроенергії в цеху зображена на аркуші 3 графічної частини проекту.

## 2.9 Розрахунок і вибір апаратів управління і захисту, розрахунок силової мережі

Для двигуна компресора вибираємо апаратуру керування й захисту:

1. Вибираємо КРУ внутрішньої установки типу КРУ2-10-20 по [6]. Технічні дані обраного КРУ наведені в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9– Технічні дані камери КРУ2-10-20

Номінальний струм збірних шин, кА	0,63
Номінальний струм камери, кА	0,63
Стійкість електродинамічна, кА	52
Стійкість термічна, кА	20
Тип вимикача	ВМПП-10

2. Вибираємо кнопковий пост управління типу КУ92 по [6] зі ступенем захисту оболонки 1Е<sub>х</sub>d2СТ3, тому що середовище в приміщенні вибухонебезпечна класу 2.

Визначаємо номінальний струм двигуна маслонасоса ВАО-22-2 потужністю  $P_n=2,2$ квт:

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta_{дв}}, \quad (2.8)$$

Де  $P_n$  – номінальна потужність двигуна, кВт;

$U_n$  – лінійна напруга, В;

$\cos \varphi$  – коефіцієнт потужності двигуна;

$\eta_{дв}$  – ККД двигуна.

$$I_n = \frac{2,2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,86 \cdot 0,81} = 4,8A$$

Вибираємо апаратури керування й захисту для двигуна маслососа ВАО-22-2:

Автоматичний вимикач:

Визначаємо номінальний струм розщиплювача:

$$I_{нр} = K_3 \cdot I_n , \quad (2.9)$$

де  $K_3=1,35$  – коефіцієнт захисту.

$$I_{нр} = 1,35 \cdot 4,8 = 6,48 \text{ А}$$

По [6] вибираємо автоматичний вимикач серії ВА51-31-1 з  $I_n=100\text{А}$ ,  $I_{нр}=8\text{А}$ ,  $I_{отс}=80\text{А}$ .

По [6] таблиця 3.76 вибираємо магнітний пускач типу ПМЛ121002 з  $I_n=10\text{А}$ , ступінь захисту оболонки IP54.

По [6] таблиця 3.87 вибираємо кнопковий пост управління типу КУ92 зі ступенем захисту оболонки 1Е<sub>х</sub>d2СТ3.

Порядок розрахунку й вибору апаратури для інших двигунів аналогічний. Дані обраних апаратів наведені в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Технічні дані апаратів керування й захисту двигунами технологічних механізмів

Двигун технологічного механізму	Автоматичний вимикач					Магнітний пускач			Кнопковий пост керування	
	Тип	I <sub>н</sub> , А	I <sub>тр</sub> , А	I <sub>отс</sub> , А	Ступінь захисту оболонки	Тип	I <sub>н</sub> , А	Ступінь захисту оболонки	Тип	Ступінь захисту оболонки
Двигун маслонасоса	ВА51-31-1	100	8	80	IP54	ПМЛ1121002	10	IP54	КУ92	1E <sub>x</sub> d2СТ3
Двигун вентилятора	ВА51-31-1	100	12	120	IP54	ПМЛ221002	25	IP54	КУ92	1E <sub>x</sub> d2СТ3
Двигун маслонасоса редуктора	ВА51-31-1	100	8	80	IP54	ПМЛ1121002	10	IP54	КУ92	1E <sub>x</sub> d2СТ3

Розрахунок силової мережі

Вибираємо кабель живлення до двигуна компресора.

Визначаємо економічно доцільну площу перерізу жили кабелю:

$$S_e = \frac{I_p}{j_s}, \quad (2.10)$$

де  $I_p=I_n$  – розрахункова сила струму, А;

$j_e$  – економічна щільність струму, А/мм<sup>2</sup>;

$j_e=2$  А/мм<sup>2</sup> ([6] таблиця 2.35)

$$S_e = \frac{442}{2} = 221 \text{ мм}^2.$$

Вибираємо два кабелі марки ВБШв 3×120мм<sup>2</sup> з мідними жилами, I<sub>доп</sub>=250А.

Перевіряємо обраний кабель за нагрівом

$$I_p=I_n \leq I_{\text{доп}} \cdot K_1 \cdot n, \quad (2.11)$$

442 < 250·2=500 – умова виконується.

Перевіряємо обраний кабель по втраті напруги.

Обраний переріз кабелю повинен відповідати як економічним, так й умовам забезпечення споживачів якісною електричною енергією. Із цією метою лінії перевіряються по втраті напруги. Згідно [11] для силових ланцюгів відхилення напруги від номінального повинне становити не більше 5%.

Втрати напруги визначаємо по формулі:

$$\Delta U \% = e \% \cdot I_n \cdot L_k \cdot 10^{-3}, \quad (2.12)$$

де  $U_n$  – номінальна напруга мережі, В;

$l_k$  – довжина кабелю, км.

$e\%$  – питома втрата напруги, А/км;

$$\Delta U \% = 7,94 \cdot 442 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} = 0.35\% \text{ — умова виконується.}$$

Перевіряємо кабель на термічну стійкість:

$$S_{\text{мин}} = (I_{\text{кз}} \cdot \sqrt{t_{\text{пр}}}) / C, \quad (2.13)$$

де  $I_{\text{кз}}=8000$  – струм короткого замикання, А

$t_{\text{пр}}=0.1$  – наведений час короткого замикання, с

$C=141$  – коефіцієнт термічної стійкості для кабелів з мідними жилами

$S_{\text{мин}}$  – мінімально припустима площа перерізу жили, мм<sup>2</sup>.

$$S_{\text{мин}} = (8000 \cdot \sqrt{0,1}) / 141 = 17,9 \text{ мм}^2,$$

що не перевищує перерізу обраного кабелю.

$$S_{\text{мин}} \leq S_{\text{к}}$$

$$17.9 \leq 120 \text{ мм}^2 \text{ — кабель проходить.}$$

Визначаємо кабель двигуна маслонасоса.

Визначаємо довгостроково припустимий струм за умовою нагрівання:

$$I_{\text{доп}} \geq I_p / (K1 \cdot K2),$$

(2.14)

де  $K_2$  – поправочний коефіцієнт на число працюючих кабелів, що лежать поруч у землі;

$K_2=1$  (тому що кабель прокладений у повітрі).

$K_1 = 1$  – поправочний коефіцієнт на умову прокладки залежно від температури навколишнього середовища.

$$I_{доп} \geq 4,8/(1 \cdot 1) = 4,8 A$$

Визначаємо довгостроково припустимий струм кабелю за умовою захисту автоматичним вимикачем:

$$I_{доп} = (K_3 I_3) / (K_1 K_2), \quad (2.15)$$

Де  $K_3=1,25$  – коефіцієнт захисту;

$I_3=I_{нр}$  – струм захисного апарата, А.

$$I_{доп} = 1,25 \cdot 8/1 = 10 A$$

По [3] таблиця 27 вибираємо кабель марки ВВГ  $3 \times 1,5 + 1 \times 1$  з  $I_{доп}=19 A$ .

Перевіряємо обраний кабель за втратою напруги:

$$\Delta U \% = e \% \cdot I_n \cdot l_k, \quad (2.16)$$

де  $e\%$  – питома втрата напруги, А/км [6] таблиця 2.66;

$l_k=0,1$  км – довжина кабелю, км.

$l$

$$\Delta U \% = 4,58 \cdot 4,8 \cdot 0,1 = 2,2\%.$$

Що не перевищує припустиму норму ( $\Delta U_{доп}=5\%$ ), тобто кабель по втраті напруги підходить.

Вибір кабелів інших двигунів робимо аналогічно. Результати вибору зводимо в таблицю 2.11.



Таблиця 2.11 – Результати вибору живильних кабелів

Двигун механізму	Марка кабелю	Переріз, мм <sup>2</sup>	I <sub>доп</sub> , А
Двигун компресора	ВБШв	2(3×120)	250
Двигун маслососа	ВВГ	3×1,5+1×1	19
Двигун вентилятора	ВВГ	3×1,5+1×1	19
Двигун маслососа редуктора	ВВГ	3×1,5+1×1	19

### 2.10 Опис роботи схем управління електродвигунами механізмів

Розглянемо схему керування синхронним електродвигуном компресора. Схема повинна забезпечувати пуск і відключення двигуна в аварійних режимах із вказівкою характеру несправності, відключати двигун при зникненні тиску масла в системі змащення.

Всім цим вимогам задовольняє схема, що наведена на аркуші 3 графічної частини дипломного проекту.

#### *Дистанційне включення електродвигуна.*

При натисканні на ЦПУ кнопки «пуск» відбувається замикання контакту киповського реле ТДС-3000. Одержує живлення котушка реле контролю включення РКВ, що своїми нормально розімкнутими контактами замикає ланцюг соленоїда включення масляного вимикача 6 кВ, тим самим відбувається асинхронний пуск синхронного двигуна. Зі зменшенням пускового струму й наближенням швидкості обертання ротора

електродвигуна до синхронного, у ланцюг ротора подається постійний струм збудження від ТЕ8, і електродвигун входить у синхронізм.

*Дистанційне відключення електродвигуна.*

Дистанційне відключення синхронного двигуна виконується шляхом натискання на ЦПУ кнопки «стоп». Замикаються контакти киповського реле ТДС-3000. Одержує живлення котушка реле контролю відключення, що своїми нормально розімкнутими контактами замикає ланцюг соленоїда відключення. Сердечник соленоїда втягується й відбувається відключення масляного вимикача, з електродвигуна знімається живлення.

*Автоматичне відключення електродвигуна.*

Автоматичне відключення електродвигуна здійснюється аналогічно дистанційному відключенню електродвигуна, але при замиканні контактів реле захисту або дії технологічних блокувань. У схемі передбачені захисти від: мінімальної напруги, перевантаження, замикання на землю, обриву ланцюга порушення, асинхронного ходу.

*Відключення від асинхронного ходу*

Асинхронний хід відбувається при зниженні значення струму в ланцюзі збудження. Втрачає живлення котушка реле струму КА5, яка замикає свої контакти в ланцюзі проміжного реле КЛ3. КЛ3 отримує живлення і замикає свої контакти в ланцюзі реле КН6 (замикаються контакти в ланцюзі сигналізації) подається живлення на котушку проміжного реле, яке замикає свої контакти в ланцюзі соленоїда відключення.

*Відключення від перенавантаження*

При перевантаженні на трансформаторі струму ТА2 зростає струм. З вторичної обмотки струм подається на котушку реле струму КА3. КА3 замикає свої контакти в ланцюзі реле часу КТ1. Котушка реле часу КТ1 отримує живлення і замикає свої контакти в ланцюзі вказівного реле КН1 і подається сигнал на соленоїд відключення.

*Відключення від мінімальної напруги*

При зниженні напруги втрачає живлення котушка реле KL2, замикаючи свої контакти в ланцюзі соленоїда відключення.

*Відключення від замикань на землю*

При замиканні фаз на землю на вторичній обмотці трансформатора струму ТА3 через зсув фаз з'являється струм, який надходить на котушку реле струму КА3. КА3 замикає свої контакти в ланцюзі КН3 і KL1. КН3 замикає свої контакти в ланцюгах сигналізації, а KL1 в ланцюзі соленоїда відключення.

*Відключення від дифференціального захисту*

Дифференціальний захист призначений для захисту певної ділянки ланцюга. Вона здійснюється за рахунок трансформаторів струму ТА 1 і ТА4. При нормальній роботі в ланцюгах реле КА1 і КА2 струму немає. При аварії на вторичній обмотці трансформаторів з'являється струм, який надходить на реле струму КА1 (КА2). КА1 (КА2) замикає свої контакти в ланцюзі КН2 і KL1. КН2 замикає свої контакти в ланцюгах сигналізації, а KL1 в ланцюзі соленоїда відключення.

## **2.11 Вибір елементів схем управління**

Апарати керування й захисту електродвигуна були розраховані в підрозділі 2.8 даного дипломного проекту, відповідно до технічних даних електродвигуна.

Комплектний розподільний пристрій на 6 кВ із масляним вимикачем було обрано по [6] таблиця 4; кнопковий пост керування вибираємо по [6] таблиця 3.87.

Інша апаратура вибирається по [6].

Таблиця 2.12– Елементи схеми керування

<i>Поз. познач.</i>	<i>Найменування</i>	<i>Кіл</i>	<i>Примітка</i>
А	Амперметр	1	
С1, С2	Конденсатор	2	
F1, F2	Запобіжник плавкий	2	
HLG,HLR,HLW	Лампа сигнальна	3	
РТ	Реле струму	4	
КН1...КН8	Реле вказівне	8	
KL1...KL3	Реле проміжне	3	
KM1...KM6	Контактор	6	
КТ1...КТ7	Реле часу	7	
KV1,KV2	Реле напруги	2	
Q	Високовольтний масляний вимикач	1	
R1...R3	Резистор	4	
S1...S8	Контакт технологічної блокування	8	
SA	Перемикач	1	
SBC	Кнопка „Пуск”	1	
SBT	Кнопка „Стоп”	1	
SF1...SF12	Автоматичний вимикач	12	
1ТТ...5ТТ	Трансформатор струму	5	
W	Ватметр	1	
YAC	Соленоїд ввімкнення	1	
YAT	Соленоїд відключення	1	

## 2.12 Вибір захисної апаратури

До захисних апаратів відносяться автоматичні вимикачі та плавкі запобіжники.

Автоматичні вимикачі (рис. 2.5) (автомати) призначені для автоматичного відключення ланцюгів при к. з. або ненормальних режимах роботи (перевантаженнях, зниженні або зникненні напруги), а також для нечастого включення і відключення струмів навантаження. Відключення вимикача при к.з. і перевантаженнях виконується вбудованим в вимикач автоматичним пристроєм – расцеплювачем. Вимикач може мати комбінований расцеплювач (електромагнітний і теплової) або тільки електромагнітний, що відключає струм к. з.

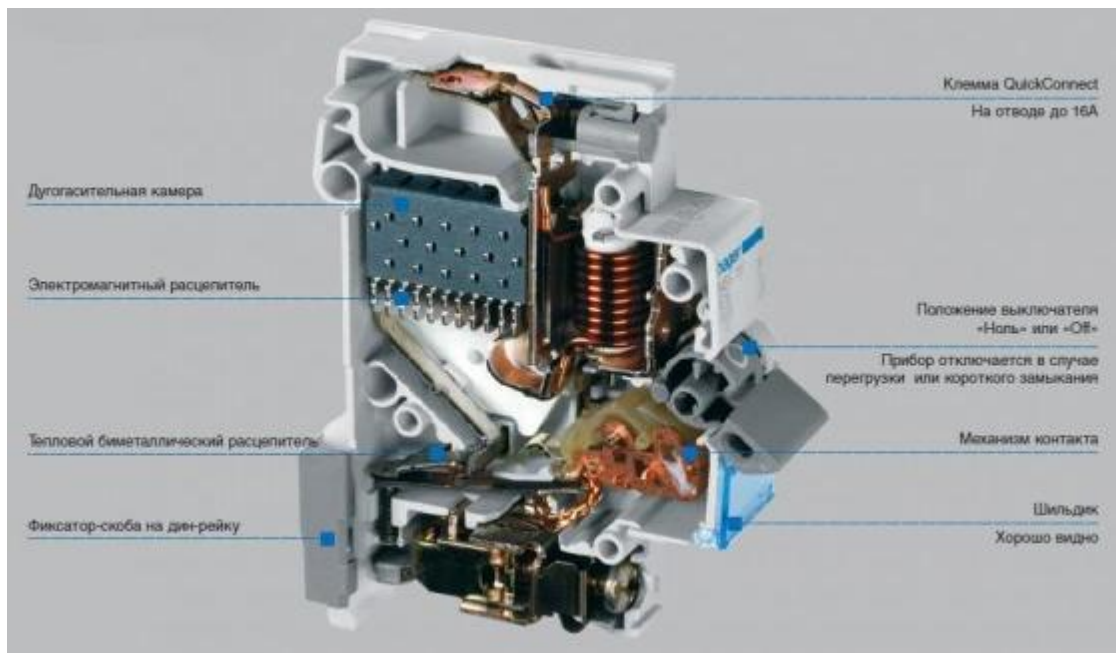


Рисунок 2.5 – Конструкція автоматичного вимикача на струми від 0,5 до 63 А

Вибираються автоматичні вимикачі по номінальному струму, напрузі і за умовами експлуатації (виходячи з типу виконання). Якщо необхідно вибрати автомат для підключення відомих навантажень необхідно розрахувати струм. Автоматичний вимикач також повинен відключити напругу при короткому замиканні.

Характеристики спрацювання (відключення) і експлуатації встановлені в європейських стандартах на автоматичні вимикачі: DIN VDE 0641 частина 11 / 8.92, EN 60 898, IEC 898 (DIN – Німецький промисловий стандарт, VDE - Технічні правила Товариства німецьких електриків, EN – 49).

Європейський стандарт, IEC - Міжнародна електротехнічна комісія) і в стандарті ГОСТ Р 50345-99.

Згідно з даними стандартам захисні пристрої можуть бути трьох характеристик спрацювання:

Автоматичний вимикач з характеристикою спрацювання В рекомендується застосовувати переважно для захисту обладнання, кабелів і ланцюгів в житлових будинках (як правило, кола освітлення і розеток).

Автоматичний вимикач з характеристикою спрацювання С рекомендується застосовувати для захисту обладнання, кабелів і ланцюгів в житлових будинках (кола освітлення і розеток), а також для захисту ланцюгів зі споживачами, що володіють великим пусковим струмом (групи ламп, електродвигуни тощо).

Автоматичні вимикачі з характеристикою спрацювання D переважно застосовуються для захисту кабелів і ланцюгів із споживачами з дуже великим пусковим струмом (зварювальні трансформатори, електродвигуни тощо).

Таблиця 2.13 – Параметри спрацювання захисних автоматів

Характеристика срабатывания	Тепловое реле			Электромагнитное реле		
	Малый испытательный ток	Большой испытательный ток	Время срабатывания	Удерживание	Срабатывание	Время срабатывания
В	$1,13 \cdot I_n$		> 1 час	$3 \cdot I_n$		> 0,1 с
		$1,45 \cdot I_n$	< 1 час		$5 \cdot I_n$	< 0,1 с
С	$1,13 \cdot I_n$		> 1 час	$5 \cdot I_n$		> 0,1 с
		$1,45 \cdot I_n$	< 1 час		$10 \cdot I_n$	< 0,1 с
D	$1,13 \cdot I_n$		> 1 час	$10 \cdot I_n$		> 0,1 с
		$1,45 \cdot I_n$	< 1 час		$20 \cdot I_n$	< 0,1 с

Варто відзначити, що переважна більшість автоматів на українському ринку пропонується з характеристикою С, з характеристикою В продаються як правило автомати на малі струми, інші поставляються в основному під замовлення.

Відповідно до стандарту DIN VDE 0100 частина 430 / 11.91 і його додатків (для пристроїв захисту кабелів і електричних ланцюгів від перевантаження), захист від надмірного нагрівання (тепловий захист) у разі перевантаження забезпечується, якщо виконуються наступні умови:

Струм ланцюга повинен бути менше або рівним номінальному току автоматичного вимикача, який в свою чергу повинен бути не більше, ніж максимально допустиме навантаження електричного кола або кабелю.

Номінальний струм спрацьовування автоматичного вимикача (для захисту від перевантаження по струму) повинен бути приблизно в 1,5 рази менше, ніж максимально допустиме навантаження електричного кола або кабелю.

Вибираємо автоматичні вимикачі компанії ІЕК – відомого виробника електротехнічної продукції під широко відомим брендом ІЕК®, що працює в Україні і країнах СНД більш 15 років.

Як секційного, а також вступних автоматів для I і II секцій шин обрані автоматичні вимикачі ВА88-37 з вбудованим електронним розцеплювачем, захист від перевантаження і короткого замикання в яких виконує електронний розцеплювач надструмів МР-211.

Електронний розцеплювач не потребує окремого харчування і гарантує правильну роботу захисту при струмі навантаження не менше 15% від номінального навіть при наявності напруги тільки в одній фазі. Блок захисту включає в себе три трансформатора струму, електронний модуль і відключає електромагніт, який впливає безпосередньо на механізм вимикача. Трансформатори струму, встановлені усередині корпусу розцеплювача, забезпечують електроживлення електронної схеми розцеплювача і виробляють сигнали, необхідні для виконання функції захисту. Захисні

характеристики (уставки спрацьовування) вибираються споживачем безпосередньо на передній панелі вимикача установкою DIP-перемикачів відповідно до наведеної мнемосхеми.

Завдяки широкому діапазону регулювання уставок електронний розцеплювач МР211 придатний для всіх розподільчих мереж, в яких потрібно надійність і точність спрацьовування.



а



б

Рисунок 2.6 – Вимикачі ВА88-37 (а) та ВА47-29 (б) виробництва ІЕК 53

Для захисту ліній, що відходять з ЕРП вибираємо автоматичні вимикачі ВА47-29М, які призначені для захисту розподільних і групових кіл, що мають різне навантаження і рекомендовані виробником для застосування на виробництві.



## РОЗДІЛ 3

### ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯ ВІДДІЛЕННЯ КОМПРЕСІЇ ЦЕХУ АМІАКА

#### 3.1 Характеристика освітлення

Промислове світлодіодне освітлення - один з кращих варіантів, який має безліч переваг перед звичайним освітленням. Перш за все, це економічність - як енергії, так і витрачених фінансів. При установці промислових світлодіодних світильників істотно знижуються витрати на енергоспоживання. Економія електроенергії, а відповідно, і фінансів відбувається за рахунок великої світловіддачі світлодіодів. Завдяки цій властивості досягається скорочення споживання електроенергії. Світлодіодні світильники, незважаючи на не найнижчу вартість, досить швидко окупаються. Промислові світлодіодні світильники призначені для освітлення промислових об'єктів, складських комплексів, виробничих цехів – їх встановлюють всюди, де потрібно потужне, але економічне освітлення. Розрахунковий термін експлуатації світлодіодних світильників для виробництва не йде ні в яке порівняння з простими лампами – він становить понад 100 тисяч годин. Крім того, вони абсолютно безпечні щодо пожежонебезпеки, так як завдяки оптимальному тепловідводу практично не нагріваються і в той же час не бояться вологи, що робить їх незамінними в приміщеннях з підвищеним рівнем вологи. Крім того, завдяки тривалому періоду експлуатації, промислове світлодіодне освітлення в рази дешевше в обслуговуванні ніж будь-яке інше.

В даний час освітлення виконується світильниками серії НВТ, освітлення інших приміщень виконується світильниками або з люмінесцентними лампами, або з лампами розжарювання. Сумарна потужність освітлювальних установок – 6 кВт.

В якості альтернативи існуючому висвітлення на проєктованій ділянці пропонується установка світлодіодних світильників з високим ступенем захисту IP65 і високою світловіддачею марки ARCTIC LED 600, що поставляються компанією «Світлові технології». Зовнішній вигляд і крива сили світла представлені на рис. 3.1. Технічні характеристики представлені в таблиці 2.1.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд (а) і крива сили світла (б) світлодіодного світильника ARCTIC LED 600 EM Ex 5000K

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики світильника ARCTIC LED 600

Параметр світильника	Характеристика
Тип світильника	Промисловий, світлодіодний
Джерело світла	СВД (світловипромінюючі діоди)
Потужність	26 Вт
Розміри (В x Ш x Д)	123x168x670 (мм)
Температура експлуатації	-20 ... + 40°C
Кліматичне виконання	УХЛ2
Тип цоколя	LED
Оптична частина	Розсіювач
Світловий потік	2300 lm
Ступінь захисту	IP65
cos φ	0,99

### 3.2 Вибір виду та системи освітлення, джерел світла та їх розташування

В освітлювальних установках розрізняють 4 види освітлення: робоче, аварійне, аварійно-евакуаційне, охоронне. Вибираємо 2 види освітлення - робоче й аварійне.

Існують 2 системи освітлення – загальна й комбінована. Тому що технологічне устаткування розташоване рівномірно по площі приміщення, тому вибираємо рівномірну загальну систему освітлення.

З огляду на те, що в приміщенні виконується загальне спостереження за ходом технологічного процесу, розходження кольорів не потрібно, висота приміщення 12 м, тому приймаємо як джерела світла лампи ДРЛ.

З урахуванням вимог до світлорозподілу, умовам середовища, економічності вибираємо світильники типу РСП. Дані світильника наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Технічні дані світильника

Тип світильника	Потужність Вт	Ступінь захисту	КСС	ККД %	Спосіб установки	Спосіб монтажу
РСП-11 ВЕХ-400- 412	400	IP-65, 1Exde2CT4	ГЗ	60	С	На гак

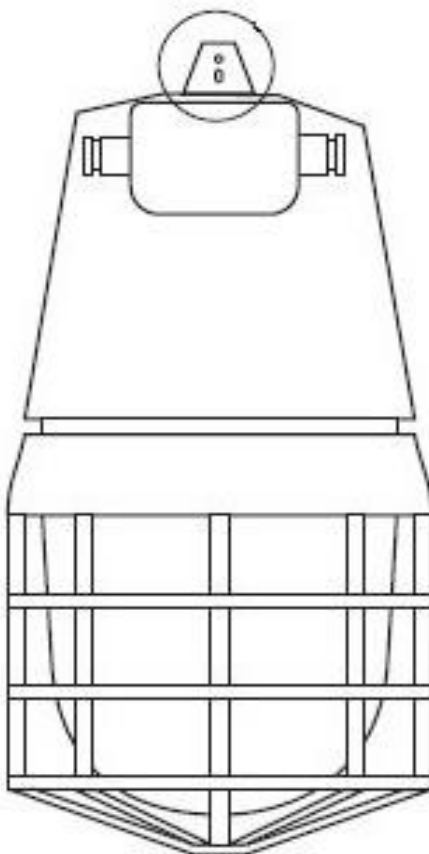


Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд світильника типу РСП-11 ВЕХ-400-41

З урахуванням середовища в приміщенні вибираємо по [12], таблиця 3 значення коефіцієнта запасу  $k_3=1,8$ .

Виконуємо попереднє розміщення світильників на плані приміщення. Для цього задаємося відстанню світильника від перекриття (звис)  $h_c=2.2$ м, залежно від висоти робочої поверхні  $h_p=0.8$ м.

Визначаємо розрахункову висоту світильника:

$$h=H-(h_c+h_p), \quad (3.1)$$

де  $H$  – висота приміщення, м;

$h_c$  – звис світильника, м;

$h_p$  – висота робочої поверхні, м.

$$h=12-(2.2+0.8)=9 \text{ м}$$

Для світильника із КСС- ГЗ по [3], с. 122 вибираємо  $L/h=0.66$

Визначаємо можливу відстань між світильниками:

$$L=0.66 h, \quad (3.2)$$

$$L=0,66 \cdot 9=5,94\text{м.}$$

Приймаємо розташування світильників по вершинах квадратів  $L=6\text{м}$ .

Визначаємо можливі відстані від крайніх світильників до стін:

$$l=0.5 \cdot L, \quad (3.3)$$

$$l=0.5 \cdot 6=3\text{м.}$$

Визначаємо кількість світильників по довжині приміщення:

$$n_a = \frac{a - 2 \cdot l}{L} + 1, \quad (3.4)$$

де  $a$  – довжина приміщення, м.

$$n_a = \frac{66 - 2 \cdot 3}{6} + 1 = 10 \text{шт.}$$

Визначаємо кількість світильників по ширині приміщення:

$$n_b = \frac{b - 2 \cdot l}{L} + 1, \quad (3.5)$$

де  $b$  – ширина приміщення, м.

$$n_b = \frac{24 - 2 \cdot 3}{6} + 1 = 5 \text{шт.}$$

Приймаємо по довжині приміщення 10 світильників, а по ширині приміщення 5 світильників.

Визначаємо загальна необхідна кількість світильників:

$$N=n_a \cdot n_b, \quad (3.6)$$

$$N=10 \cdot 5=50 \text{ шт.}$$

Задаючись масштабом М 1:300, виконуємо розміщення світильників на плані. План розміщення світильників наведений на рис. 3.3.

### 3.3 Розрахунок електричного освітлення з перевіркою крапковим методом

Розрахунок освітлення приміщення виконуємо методом коефіцієнта використання світлового потоку з наступною перевіркою крапковим методом.

Визначаємо площу приміщення:

$$S=a \cdot b, \quad (3.7)$$

$$S=66 \cdot 24=1584 \text{ м}^2$$

Визначаємо індекс приміщення:

$$i=\frac{a \cdot b}{h \cdot (a+b)}, \quad (3.8)$$

$$i=\frac{66 \cdot 24}{9 \cdot (66+24)}=2$$

По [3] таблиця 52 знаходимо ККД приміщення з урахуванням індексу приміщення й коефіцієнтів відбиття поверхонь ( $\rho_n=70\%$ ,  $\rho_c=50\%$ ,  $\rho_p=30\%$ ):

$$\eta_{\text{ном}}=91\%$$

Визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку:

$$\eta_{\text{исп}} = \eta_{\text{ном}} \cdot \eta_{\text{св}}, \quad (3.9)$$

де  $\eta_{\text{св}}$  – ККД світильника

$$\eta_{\text{исп}} = 0,91 \cdot 0,6 = 0,546$$

Визначаємо світловий потік однієї лампи:

$$\Phi_p = \frac{K_z \cdot E_n \cdot S \cdot Z}{N \cdot \eta_{\text{исп}}}, \quad (3.10)$$

де  $K_z = 1,8$  – коефіцієнт запасу ([12] таблиця 3);

$E_n = 150$  – нормована освітленість, лк ([11] таблиця 1);

$Z = 1,15$  – коефіцієнт мінімальної освітленості ([3] с. 123).

$$\Phi_p = \frac{1,8 \cdot 150 \cdot 1584 \cdot 1,15}{50 \cdot 0,546} = 18015,82 \text{ лм}$$

Для вибору лампи визначаємо межі світлового потоку:

$$\Phi_{\text{дон}} = (0,9 \div 1,2) \cdot \Phi_p, \quad (3.11)$$

$$\Phi_{\text{дон}} = 16214,238 \div 21618,84 \text{ лм}$$

По [4] таблиця 14.5 вибираємо лампу ДРЛ–400 зі світловим потоком лампи  $\Phi_l = 24000 \text{ лм}$ . Технічні дані обраної лампи заносимо в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Технічні дані лампи

Тип лампи	Світловий потік, лм	Потужність лампи, Вт	Діаметр колби, мм	Довжина лампи, мм
ДРЛ–400	24000	400	122	295

Визначаємо фактичну освітленість:

$$E_\phi = \frac{E_n \cdot \Phi_l}{\Phi_p}, \quad (3.12)$$

$$E_\phi = \frac{150 \cdot 24000}{18015,82} = 199,82 \text{ лк}$$

$$E_{\phi} > E_n$$

$$199.82 > 150 \text{лк}$$

Тому що фактична освітленість більше нормованої освітленості, то розрахунок виконаний правильно.

Перевіряємо правильність виконання розрахунку крапковим методом. Для цього намічаємо на плані розташування світильників (малюнок 3.3) контрольні крапки: крапка А – с оптимальними, крапка В – с гіршими умовами освітлення.

Робимо вимір відстаней від контрольних крапок А и В до найближчих світильників і по кривих просторових изолукс для світильників РСП-11, наведених в [7] малюнок 6.29, залежно від висоти світильника й відстані від нього до крапки, визначаємо умовну освітленість, створювану кожним світильником у контрольній крапці. Результати вимірів заносимо в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Відстані від світильників до крапок А и В, умовна освітленість.

Крапка	Номер світильника за планом	Відстань від світильника до крапки, м	Умовна освітленість, лк		
			одного світильника	всіх світильників	загальна $\Sigma_e$ , лк
А	21, 24, 31, 34	9,3	0,8	3,2	29,2
	22, 23, 32, 33	3,6	4,3	17,2	
	12, 13, 42, 43	6,6	2,2	8,8	
В	32, 33	8,4	1,12	2,24	12,64
	41, 44	9,9	0,6	1,2	
	42, 43	3,3	4,6	9,2	

Визначаємо освітленість для крапки В с гіршими умовами освітленості:

$$E_e = \frac{\Phi_l \cdot Z \cdot e_e}{1000 \cdot K_s}, \quad (3.13)$$



$$E_e = \frac{24000 \cdot 1,15 \cdot 12,64}{1000 \cdot 1,8} = 193,8 \text{лк}$$

$$E_e > E_n$$

$$193,8 > 150 \text{лк}$$

Освітленість крапки В вище нормованої, отже розрахунок освітлення виконаний правильно.

### 3.4 Вибір схеми живлення й розрахунок мережі освітлення

При виборі схеми живлення освітлення приміщення враховується:

- необхідний ступінь надійності живлення;
- регламентовані рівні й постійність напруги джерел світла;
- простота й зручність в експлуатації;
- економічність установки.

Схема живлення мережі освітлення наведена на рисунку 3.3.

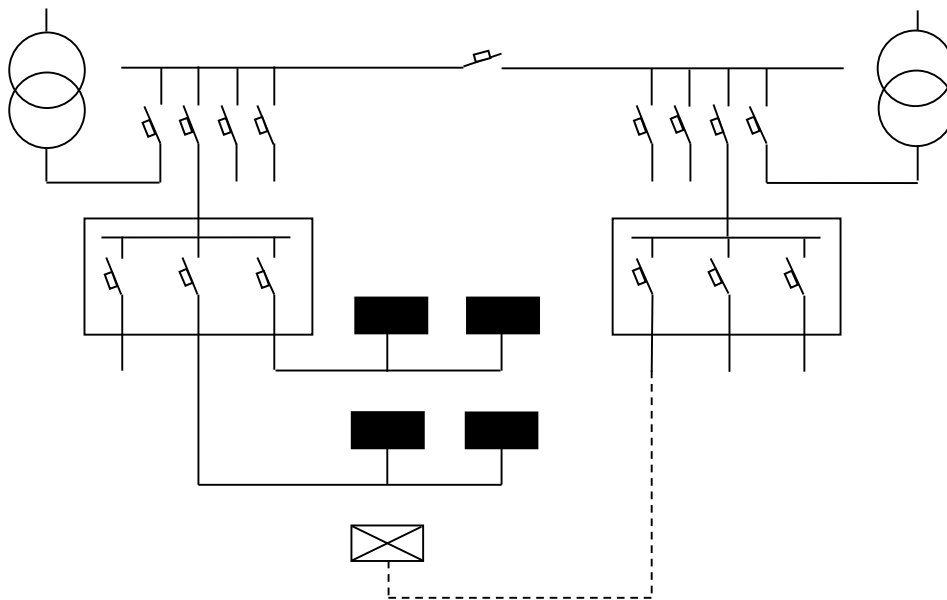


Рисунок 3.3 – Схема живлення робочого й аварійного освітлення

Виконуємо розрахунок освітлювальної мережі, наведеної на аркуші 2 графічної частини дипломного проекту.

Для живлення групової освітлювальної мережі по [14] с. 43 вибираємо щиток серії ЩА611УХЛ4. Технічні дані щитка наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Технічні дані щитка

Тип	Число автоматів на щитку	Розміри, мм	Спосіб установки	$I_n$ , А	ступінь захисту
ЩА611УХЛ4	6	300×300×100	на стіні	63	IP 20

Ввід на щиток здійснюємо від РП. На кожен автомат підключаємо по 10 світильників.

Визначаємо робочий струм автоматичного вимикача:

$$I_p = \frac{P_l \cdot n_1}{U_\phi}, \quad (3.14)$$

де  $P_l$  – потужність однієї лампи, Вт;

$n_1$  – кількість ламп у групі;

$U_\phi$  – фазна напруга мережі, В.

$$I_p = \frac{400 \cdot 10}{220} = 18,2 \text{ А}$$

Визначаємо струм уставки автомата групової лінії:

$$I_{уст.} = 1,4 \cdot I_p, \quad (3.15)$$

$$I_{уст.} = 1,4 \cdot 18,2 = 25,48 \text{ А}$$

Приймаємо стандартне значення струму уставки  $I_{уст.} = 31,5 \text{ А}$ .

По [1] таблиця 11.18 вибираємо автомат АЕ2046 з комбінованим розчіплювачем і струмом уставки  $I_{уст.} = 31,5 \text{ А}$ .

Визначаємо місце установки освітлювального щитка. Установлюємо щиток у входу зовні приміщення. Найбільш вилученої буде 5 група світильників.

По аркуші 2 графічні частини дипломного проекту визначаємо відстань від щитка до 5 групи світильників у крапці зосередженого навантаження:

$$L_1 = 50 \text{ м}$$

Визначаємо момент навантаження на лінію:

$$M_1 = P_{\text{л}} \cdot n_1 \cdot L_1, \quad (3.16)$$

$$M_1 = 400 \cdot 10 \cdot 50 = 200000 \text{ Вт} \cdot \text{м} = 200 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Визначаємо необхідний переріз провідників лінії:

$$S_{\text{расч}} = \frac{M_1}{C \cdot \Delta U \%}, \quad (3.17)$$

де  $C=12$  – коефіцієнт для двухпроводної лінії при напрузі 220В для мідних провідників;

$$\Delta U \% = 1.8 \text{ – втрата напруги, \%}$$

$$S_{\text{расч}} = \frac{200}{12 \cdot 1.8} = 9.25 \text{ мм}^2$$

По [3] таблиця 25 вибираємо кабель марки ВВГ-2×10мм<sup>2</sup> с.  $I_{\text{дон.}} = 70 \text{ А}$

Перевіряємо обраний кабель по нагріву:

$$I_{\text{дон.}} \geq K_3 I_3 = I_{\text{уст.}} \cdot 1.25, \quad (3.18)$$

$$70 > 31.5 \cdot 1.25$$

$70 > 39,4 \text{ А}$  – умова виконується, тобто кабель по нагріву підходить.

Визначаємо переріз кабелю для підключення щитка до РП цеху.

Приймаємо довжину кабелю від щитка до РП цеху:

$$L_2 = 25 \text{ м}$$

Визначаємо момент навантаження:

$$M_2 = P_{\text{л}} \cdot N \cdot L_2, \quad (3.19)$$

$$M_2 = 400 \cdot 50 \cdot 25 = 500000 \text{ Вт} \cdot \text{м} = 500 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Визначаємо необхідний переріз кабелю:

$$S_{расч} = \frac{M_2}{C \cdot \Delta U\%}, \quad (3.20)$$

де  $C=44$  – коефіцієнт для чотирьох провідної лінії 220В з алюмінієвими жилами

$\Delta U\% = 1.2$  – втрата напруги, %

$$S_{расч} = \frac{500}{44 \cdot 1,2} = 9,5 \text{ мм}^2$$

По [3] таблиця 27 вибираємо кабель марки АВВГ-4×10мм<sup>2</sup> с.  $I_{доп.} = 38A$

### 3.5 Розрахунок аварійного освітлення

Визначаємо аварійну освітленість:

$$E_{ав} = 0,05 \cdot E_n, \quad (3.21)$$

$$E_{ав} = 0,05 \cdot 150 = 7,5 \text{ лк.}$$

Визначаємо необхідний світловий потік аварійного освітлення:

$$\Phi_{ав} = E_{ав} \cdot S, \quad (3.22)$$

$$\Phi_{ав} = 7,5 \cdot 1584 = 11880 \text{ лм}$$

Для аварійного освітлення по [2] таблиця 4.4 вибираємо лампи типу БК-215-225-100 із  $\Phi_n = 1350 \text{ лм}$ .

Визначаємо необхідна кількість ламп:

$$n_{ав} = \frac{\Phi_{ав}}{\Phi_l}, \quad (3.23)$$

$$n_{ав} = \frac{11880}{1350} = 8,8 \text{ шт.}$$

Приймаємо до установки 10 лампи. Розташовуємо їх біля ламп робочого освітлення. Лампи підключаємо через щиток аварійного освітлення, який живеться від іншого вводу ніж робоче освітлення.

Вибираємо щиток аварійного освітлення ЩА611УХЛ4 з автоматом АЕ1031. Технічні дані щитка наведені в таблиці 2.4.

Визначаємо струм уставки автомата:

$$I_{уст} = \frac{1,4 \cdot P_{л.ав} \cdot n_{ав}}{U_{\phi}}, \quad (3.24)$$

$$I_{уст} = \frac{1,4 \cdot 100 \cdot 10}{220} = 6,4A$$

По [1] таблиця 11.18 вибираємо автомат АЕ1031 з комбінованими расцепителями й струмом уставки  $I_{уст.} = 8A$ .

По аркушу 2 графічної частини дипломного проекту визначаємо відстань від щитка до групи світильників аварійного освітлення в центрі зосередженого навантаження:

$$L_3 = 50m$$

Визначаємо момент навантаження на лінію:

$$M_3 = P_{л.ав} \cdot N_{ав} \cdot L_3, \quad (3.25)$$

$$M_3 = 100 \cdot 10 \cdot 50 = 50000 \text{Вт} \cdot \text{м} = 50 \text{кВт} \cdot \text{м}$$

Визначаємо необхідний переріз кабелю:

$$S_{расч} = \frac{M_3}{C \cdot \Delta U\%}, \quad (3.26)$$

де  $C=12$  – коефіцієнт для двох провідної лінії з мідними провідниками на 220В

$\Delta U\% = 1.7$  – втрата напруги, %

$$S_{расч} = \frac{50}{12 \cdot 1,7} = 2,45 \text{мм}^2$$

По [3] таблиця 27 вибираємо двожильний кабель марки ВВГ-2×2,5мм<sup>2</sup>  
с.  $I_{\text{доп.}} = 27 \text{ A}$ .

## РОЗДІЛ 4

### ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

#### 4.1 Організація монтажу електрообладнання

Електромонтажні роботи виконуються у дві стадії.

Перша стадія передбачає виробництво всіх підготовчих і заготівельних робіт. На цій стадії у середині споруджень і будинків виконують монтаж опорних конструкцій для установки електроустаткування, прокладки кабелів, проводів, троллеїв, монтаж металевих і пластмасових труб для електропроводок, прокладку проводів схованої проводки до штукатурних й опоряджувальних робіт, а поза будинками й спорудженнями - монтаж кабельних мереж і мереж заземлення. Перераховані роботи виконують у спорудженнях і будинках за графіком - разом із проведенням основних будівельних робіт. На цій же стадії в майстернях заготовляють вузли й пакети силових й освітлювальних електропроводок; збирають блоки електроустаткування, перевіряють і випробовують апаратуру й машини на стендах тощо.

На другій стадії монтують електроустаткування (укрупнені вузли й блоки), прокладають проводки (вузли й пакети), кабелі й шинопроводи, підключають кабелі й провідники до виводів електроустаткування. В електричних приміщеннях (ЗРУ, машинних залах, приміщеннях розподільних щитів, постів і станцій керування, камерах трансформаторів, кабельних напівповерхах, тунелях і каналах) роботи другої стадії виконують після завершення комплексу загально будівельних, опоряджувальних робіт і монтажу санітарно-технічних пристроїв.

## **4.2 Опис технології монтажу і розрахунок потреби в основних виробках і матеріалах, пристосуваннях і спеціальному інструменті для монтажу електрообладнання**

Підготовчі роботи при монтажі електричних машин великої потужності, що прибувають на монтаж у розібраному виді:

Виробляється перевірка фундаментів, вони повинні відповідати розмірам фундаментних плит електричних машин і кресленням.

При розмітці й підготовці місць на фундаменті для установки клинів і підкладок, варто звернути увагу на рівність і горизонтальність поверхні. Виробляється установка закладних у не затверділий бетон фундаменту.

Підготовка електричних машин до монтажу:

Виробляється розбирання підшипників і перевірка якості вкладишів і прилягання кришок підшипника. Бабітова поверхня вкладишів повинна бути без задирів і подряпин. Перевіряють щільність прилягання бабіту й відповідність масляних канавок кресленням заводу-виготовлювача.

Пред'являються наступні вимоги:

- а) різьбові отвори повинні бути без дефектів, різьба справна;
- б) обмотки – міцно розклинені в пазах; при необхідності виробляється додаткова расклиновка;
- в) ізоляція лобових частин без видимих ушкоджень;
- г) активна сталь ротора й статора повинна бути без вм'ятин, вибоїв й іржі й покрита твердим покриттям, що охороняє;
- д) виробляється перевірка бандажів, щільності расклиновки обмоток роторів при виході з пазів, щільності запресовування сердечників;
- е) стрижні демпферної клітки повинні бути закарбовані без слабини. Котушки порушення повинні щільно сидіти на сердечнику;
- ж) всі болтові з'єднання затягнуті;
- з) з'єднання виводів повинне бути у відповідності з напругою мережі.



При розпакуванні й розміщенні частин електричних машин у монтажній зоні, визначають наявність частин і деталей електричних машин по укомплектовочній відомості. Виробляється очищення машин, а також усунення виявлених при ревізії дефектів або рішення питання усунення дефектів разом із замовником.

Фундаментні плити встановлюються по осях, висоті й рівню на металеві клини й підкладки. При бесподкладочному методі монтажу електричних машин фундаментні плити встановлюються на інвентарні настановні пристосування (клинові домкрати) або гвинтові пристрої. Висота установки фундаментальної плити регулюється клинами або клиновими домкратами й контролюється перевіркою лінійкою шляхом порівняння оцінки верхньої настановної поверхні плити й висотою репера.

Підшипникові стійки встановлюються по осях і висоті. Висота підшипникових стійок регулюється зміною товщини й кількості металевих прокладок або клинів під стійками. Після установки підшипникові стійки повинні бути зафіксовані контрольними штифтами.

При монтажі двигунів статори встановлюються краном і виверяються по основній і поперечній осях у вертикальній і горизонтальній площинах. При нероз'ємному статорі роблять заведення ротора в статор осторонь від фундаментальної плити (у спеціально певнім місці в зоні монтажу). Станини з лабетами збоку встановлюються для заведення ротора на шпальне викладення. При довжині ротора не дозволяє ввести його в порожнину статора без перестропування, вал ротора нарощують подовжувачем, що поставляється заводом-виготовлювачем.

При центруванні осьові розбіги валів повинні відповідати нормам. Зазори в підшипниках повинні перебувати в припустимих межах. Значення зазору в підшипниках ковзання встановлюється заводом-виготовлювачем.

Зазори в нероз'ємних підшипниках ковзання визначають щупом з торцевих сторін втулок або виміром діаметрів втулок і шийок валів при розбиранні електромашин.

При виконанні внутрішніх з'єднань електромашини контакти з'єднань повинні бути зачищені від фарби й бруду.

При установці контрольних шпильок (конічних штифтів) досягається фіксоване положення частин електромашин на фундаментній плиті. Виробляється продувка електромашин стисненим повітрям.

Установлюються кожухи й обмеження. Виконуються необхідні дії для підготовки до пуску. Підшипники заповнюють маслом. Регулювання подачі масла виробляється відповідно до вказівок заводу-виготовлювача.

Виробляється пробний пуск електричної машини, нагрівання підшипників при цьому повинен бути не вище припустимих норм.

Виконується випробування на холостому ході й під навантаженням, при цьому роблять перевірку вібрацій і нагрівання обмоток на відповідність припустимим нормам.

Таблиця 4.1 – Відомість інструментів і пристосувань для монтажу електроустаткування

Найменування	ГОСТ або № ТУ	Од. вим.	Кіл	Примітка
1	2	3	4	5
1. Індикатор годинного типу КИ із ціною розподілу 0,01	ГОСТ 577-68	шт.	2	Для центрування й вивірки валів
2. Лінійка вимірювальна металева 500мм	ГОСТ 427-75	шт.	1	Для виміру відбитків у різних підшипниках
3. Метр складаний металевий	ГОСТ 427-75	шт.	2	
4. Мікрометр типу МК, межа виміру 0-25мм	ГОСТ 6507-60	шт.	1	
5. Штангенциркуль до 300мм	ГОСТ 166-73	шт.	1	
6. Штангенциркуль до 150мм	ГОСТ 166-73	шт.	1	
7. Рівень рамний 200×200мм	ГОСТ 9392-75	шт.	1	

## Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5
8. Рівень брусковий 200×200мм	ГОСТ 9392-75	шт.	1	Для установки взаємного положення фундаменту плит
9. Лінійка перевірна 2.5м	ГОСТ 8026-55	шт.	1	
10. Щупи №1,2,5	ГОСТ 882-75	шт.	2	
11. Нутромір мікрометричний	ГОСТ 10-75	шт.	1	Для виміру втулкових підшипників ковзання, діаметра маточини напівмуфт
12. Рулетка вимірювальна металева до 10м	ГОСТ 7502-69	шт.	1	
13. Ключі гайкові з відкритими зівами двосторонні	ГОСТ 2839-71	компл	1	
14. Ключі гайкові з відкритими зівами однобічні	ГОСТ 2841-71	компл	1	
15. Ключі гайкові кільцеві двосторонні	ГОСТ 2906-71	компл	1	
16. Трансформатор однофазний 220/12-36У	ГОСТ16710-76	шт.	1	
17. Світильник переносний ручний 36У	ГОСТ 7110-69	шт.	1	
18. Вібровимірюючий прилад ВИП-2 або ИШВ-1	ГОСТ 9763-67	шт.	1	Для виміру вібрацій
19. Мегаомметр на напругу, В: 500, 1000, 2500	ГОСТ 9763-67	шт.	1	Вибирається відповідно до напруги машини
20. Термометр ртутний технічний зі шкалою до 150°С	ГОСТ 9763-67	шт.	1	Для виміру t°С масла підшипників

## ВИСНОВКИ

У даній магістерській роботі розглянути електрообладнання та електроосвітлення відділення компресії цеху аміака.

Відділення компресії призначене для компресування природного газу і продуктів його переробки. У дипломному проєкті був зроблений розрахунок потужності електродвигуна компресора. За технічним даними компресора вибраний двигун типу СТДМП4000-2 потужністю 4000кВт, напругою 6кВ (ступінь захисту оболонки 1E<sub>x</sub>p2BT3). Двигун був перевірений на входження в синхронізм. Перевірка за нагрівом не проводилася тому що двигун працює в тривалому режимі. Виконані схеми захисту електродвигуна турбокомпресора (схеми релейного захисту від ненормальних режимів роботи електродвигуна). Також були обрані 4 двигуна маслонасоса (ВАО-22-2 Р=2,2кВт, U=380В, 2960об/хв.), 2 двигуна маслонасоса редуктора (В90L32 Р=2,2кВт, U=380В, 1400об/хв.) і 2 двигуна вентилятора (В100S4 Р=4кВт, U=380В, 1400об/хв.)(1E<sub>x</sub>d2BT3).

Була обрана апаратура захисту двигунів. Т. к. двигун компресора високовольтний вибрали ячейку КРУ 2-10-20 і кнопковий пост керування КУ92 зі ступенем захисту оболонки 1E<sub>x</sub>d2CT3 Розрахунок живильного кабелю до двигуна компресора здійснюємо по економічній щільності струму

$(S_e = \frac{I_p}{j_s})$ . Зробили перевірку за нагріванням  $(I_p = I_n \leq I_{доп} \cdot K_1 \cdot n)$ , по втраті

напруги  $(\Delta U \% = e \% \cdot I_n \cdot L_k \cdot 10^{-3})$ , на термічну стійкість  $(S_{мин} = (I_{кз} \cdot \sqrt{t_{пр}}) / C)$ .

Для двигуна компресора вибрали 2 кабелі марки ВБШВ 3×120 з I<sub>доп</sub>=250А.

Для інших двигунів вибрали кабель марки ВВГ 3×1,5+1×1 з I<sub>доп</sub>=19А.

Зробили вибір по довгостроково припустимому струму  $(I_{доп} \geq I_p / (K_1 \cdot K_2))$ .

Зробили перевірку за втратою напруги  $\Delta U \% = e \% \cdot I_n \cdot L_k$  й за умовою захисту автоматичним вимикачем  $I_{доп} = (K_3 I_3) / (K_1 K_2)$ .

Розрахунок освітлення приміщення відділення компресії виконувався в такий спосіб. З урахуванням освітленості приміщення, висоти й середовища в приміщенні був вибраний тип ламп і світильників, розрахована кількість світильників. Розрахунок виконувався методом коефіцієнта використання світлового потоку з перевіркою крапковим методом. Було вибрано 50 взривозахищених світильників типу РСП-11 ВЕХ-400-412 (IP-65, 1E<sub>x</sub>de2CT4) з лампою ДРЛ-400. Розраховано перетин живильного кабелю до світильників (ВВГ 2×10). Розраховано аварійне висвітлення. Необхідно 10 світильників типу ВЗМ-100 з лампами накаливання БК-215-225-100. Кабель в аварійній мережі марки ВВГ-2×2,5мм.

Виконана графічна частина дипломного проекту. Вона складається з 5 аркушів на яких зображено схеми силового устаткування 6кВ, схеми силового устаткування 0,4кВ, принципова схема управління та захисту електродвигуна турбокомпресора, план розміщення світильників робочого та аварійного освітлення.

У проекті проведені заходи щодо монтажу електрообладнання технології монтажу машин, щитків, світильників. В економічній частині проекту був зроблений розрахунок на монтаж електрообладнання. Для цього виконали розрахунок балансової вартості електроустаткування, трудових витрат, кількість чоловік, фонд оплати праці, накладні витрати. Складено кошторис витрат на монтаж електрообладнання також зробили розрахунок ефективності монтажу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. П.Д. Лежнюк, О.Є. Рубаненко, І.О. Гунько Оптимізація режимів електричних мереж з відновлювальними джерелами електроенергії. Вінниця: ВНТУ, 2018. – 171с.
2. Железко Ю.С. Застосування технологічних знижок (надбавок) – один із способів зниження тарифів на електроенергію. // Електрика. 2001.№6. С. 12-15.
3. Reactive Power and Distortion Power // Intern. Electro technical Conunission, Technical Committee № 25. Working Group 7. 1979. Document 25. Rep. 113
4. Конспект лекцій з дисципліни "Електропостачання промислових підприємств" для студентів напряму 6.050701 – електротехніка і електротехнології, 6.050702 - електромеханіка / Укладачі Є.Д.Хмельницький, О.О.Крупник — Дніпродзержинськ, ДДТУ, 2016, 126 с. (Частина 2)
5. Конспект лекцій з дисципліни "Електропостачання промислових підприємств" для студентів напряму 6.050701 – електротехніка і електротехнології, 6.050702 - електромеханіка / Укладачі Є.Д.Хмельницький, О.О.Крупник — Дніпродзержинськ, ДДТУ, 2016, 126 с.(Частина 2)
6. Воропай Н.И. Глобальные тенденции в энергетике на рубеже столетий // Энергия: экономика, техника, экология. – 2000. – № 12.
7. Состояние и основные направления развития распределительных электрических сетей Украины / Н. Титов, В. Прохвятилов, Н. Черемисин, В. Зубко // ТЭК. – 2003. – № 5. – С. 47–49.
8. Туkenов А. Рынок электроэнергии: от монополии к конкуренции. – М.: Энергоатомиздат, 2005.
9. Черемисин Н., Зубко В. Автоматизация учета и управления электропотреблением: Пособие для вузов. – Харьков, 2005. – 192 с.

10. Основи енергозберігаючого керування електроенергетичними системами та комплексами / О.М. Сінчук, Н.Л. Федорченко, Л.Б. Литвинський, К.І. Федорченко, І.О. Сінчук, О.Є Мельник – Кременчук: ПП Щербатих О.В., 2010. – 340 с.
11. Краснянський М.Ю. Енергозбереження: навч. посіб. – К.: Кондор, 2018. – 136 с.
12. Жуйков В.Я., Денисюк С.П. Енергетичні процеси в електричних колах з ключовими елементами. – К.: НТУУ «КПІ». – 2010. – 264 с.
13. М. П. Кузнєцов. Особливості короткотермінового прогнозування потужності ВЕС та СЕС, 2017.
14. Проектування електричної частини електричних станцій та підстанцій: Навчальний посібник/ Укл.: Є.І. Бардик, П.Л. Денисюк, Ю.В. Безбереж'єв./ – К.: НТУУ «КПІ», 2011 – 105 с.
15. Проектування електричної частини електричних станцій та підстанцій. Частина 2: Навчальний посібник/ Укл.: Є.І. Бардик, П.Л. Денисюк, Ю.В. Безбереж'єв./ – К.: НТУУ «КПІ», 2012 – 82 с.
16. Проектування електричної частини електричних станцій та підстанцій. Частина 3: Навчальний посібник/ Укл.: П.Л. Денисюк, Ю.В. Безбереж'єв, О.Г. Філатов./ – К.: НТУУ «КПІ», 2014 – 103 с.
17. Правила улаштування електроустановок. Правила улаштування електроустановок.. Розділ 1.7. Заземлення і захисні заходи безпеки. (ПУЕ – 2006), введений з 1.01. 2007 р. – Харків: Форт, 2010. – 736 с.
18. ДСанПіН 3.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. Вид. офіц. Київ: Держнаглядохоронпраці, 2002. 38 с.
19. ГКД 34.20.507-2003. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила. Київ: Об'єднання енергетичних підприємств «Галузевий резервноінвестиційний фонд розвитку енергетики», 2009. 598 с.

20. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ-2018). Вид. офіц. Харків: Форт, 2018. 458 с. 32. ДНАОП 1.1.10-1.07-01. Правила експлуатації електрозахисних засобів.

21. Бардик Є. І. Моделювання електроенергетичної системи для оцінки ризику виникнення аварій при відмовах електрообладнання [Текст] / Є. І. Бардик // Наукові праці Донецького національного технічного університету. — Серія «Електротехніка і енергетика», 2013. — Вип. 1. — С. 15–22.

22. Костерев М.В., Бардик Є.І. Питання побудови нечітких моделей оцінки технічного стану об'єктів електричних систем. Київ: НТУУ КПІ, 2010. — 131 с.

23. Бардик Є.І., Лукаш М.П. Електрична частина електричних станцій. Основне електрообладнання. — К. НТУУ "КПІ", 2011. — 220с. (учбовий посібник)