



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)

« 13 » листопада 2023 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Рудянину Степану Олеговичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка безперебійної системи живлення лікувального закладу, м. Радохів.

Керівник роботи Бабюк Сергій Миколайович, к.т.н.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 10 » листопада 2023 року № 4/7-1039

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи вимоги, що висуваються до показників якості електроенергії в лікувальних закладах, умови використання системи гарантованого та безперебійного електропостачання, характеристики споживачів електроенергії.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітичний розділ

2. Розрахунково-дослідницький розділ

3. Проектно-конструкторський розділ

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

Розподілена та централізована система безперебійного електропостачання. Дворівнева система безперебійного електропостачання. Паралельний комплекс ДБЖ. Часова діаграма роботи комплексу СБЕ-СГЕ. Система електропостачання лікувального закладу. Графік електричних навантажень (річне споживання). Розрахункова схема та схема заміщення на стороні ВН та НН.

## 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., старший викладач		

7. Дата видачі завдання 13 листопада 2023 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	15.11.2023	
2	Аналітичний розділ	25.11.2023	
3	Розрахунково-дослідницький розділ	20.11.2023	
4	Проектно-конструкторський розділ	15.12.2023	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	15.12.2023	
6	Висновки	15.12.2023	
7	Оформлення пояснювальної записки	20.12.2023	
8	Оформлення графічної частини	20.12.2023	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Рудянин С. О.

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

Бабюк С. М.

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

**Рудянин Степан Олегович – Розробка безперебійної системи живлення лікувального закладу, м. Радехів.**

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

**Стор.– 76; рис. - 11; табл. - 9; слайдів - 13; джерел - 22; додатків - 2.**

В даній кваліфікаційній роботі здійснено проектування надійної, безпечної системи електропостачання лікувального закладу з урахуванням вимог щодо якості електричної енергії.

Проведено аналіз характерних для багатопрофільних лікувальних установ електроприймачів, розглянуто вимоги, які ставляться до системи електропостачання лікувальних закладів щодо надійності, якості електропостачання, та безпеки.

Розроблено та обрано заходи щодо забезпечення якості електроенергії системи електропостачання багатопрофільного лікувального закладу.

Обрано оптимальні схемні рішення для забезпечення надійності та безпеки електропостачання, а також покращення якості електроенергії для споживачів медичних закладів.

**Ключові слова: СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧ, ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, БЕЗПЕРЕБІЙНЕ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ГАРАНТОВАНЕ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.**

**ЗМІСТ**

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Вимоги до надійності системи електропостачання лікувального закладу	9
1.2 Якісні вимоги до електроенергії в лікувальному закладі	13
1.3 Висновки до розділу 1	18
2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	20
2.1 Система безперебійного електропостачання	20
2.2 Основні принципи побудови систем безперебійного електропостачання лікувального закладу	21
2.3 Система гарантованого електропостачання	27
2.4 Основні принципи побудови систем безперебійного електропостачання лікувального закладу	29
2.5 Висновки до розділу 2	33
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	34
3.1 Аналіз існуючої структури електрогосподарства об'єкта описом схеми зовнішнього електропостачання	34
3.2 Розрахунок електричних навантажень на корпуси лікувального закладу	36
3.2.1 Повний розрахунок освітлення та обладнання корпусів лікувально-медичної установи	39
3.2.2 Повний розрахунок штучного освітлення	42
3.3 Встановлення силових трансформаторів з компенсацією реактивної потужності	47
3.4 Встановлення джерел безперебійного живлення (ДБЖ)	49
3.5 Вибір типу та розрахунок потужності дизельної електростанції (ДЕС)	50
3.6 Повний розрахунок струмів КЗ	50
3.6.1 Повний розрахунок струмів КЗ на стороні вище 1 кВ	50
3.6.2 Повний розрахунок струмів КЗ на стороні НН	52

3.7 Повний розрахунок та встановлення електричних провідників для силового електрообладнання	59
3.7.1 Вибір електричних провідників для силового електрообладнання на стороні ВН	59
3.7.2 Вибір електричних провідників для силового електрообладнання на стороні НН	62
3.8 Висновки до розділу 3	64
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	65
4.1 Основні причини ураження людини електричним струмом	65
4.2 Захисне заземлення та занулення	66
4.3 Ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій	69
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	73
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	74

## ВСТУП

### **Актуальність проблеми.**

Проведений аналіз технічного стану електричних мереж закладів охорони здоров'я [1] показав, що у більшості випадків фактичні схеми електропостачання не відповідають необхідним категоріям надійності. Ситуацію посилює сильне зношування мережного господарства. Даний аналіз [1] показав, що система електропостачання частини медичних закладів не відповідає ДБН В.2.5-23:2010 [2]. Потрібно реконструювати та підвести додаткові лінії електропередачі до лікувальних закладів, встановити трансформаторні підстанції (КТП та ЗТП) з метою створення додаткових центрів живлення. У ряді лікарень необхідно змонтувати пристрої автоматичного введення резервного живлення 0,4 кВ у розподільчих та трансформаторних підстанціях.

Так як більшість технічних апаратів, які знаходяться в розділі «реанімаційної апаратури» мають складнішу конструкцію, то простежується прямий зв'язок із безперебійним забезпеченням електричної енергії та надійності електропостачання. Найменша аварія навіть у зоні «теплової частини» може призвести до значного зниження якості електричної енергії та виходу з експлуатації всього електрообладнання.

Для підвищення надійності системи електропостачання багатопрофільних лікувальних закладів необхідно передбачати варіанти резервування, незалежні джерела електропостачання. Цей варіант є більш дорогим, ніж без прямого резервування, а ефективність його не завжди виправдана. Наприклад, надмірне резервування може призводити як до подорожчання, так і до збільшення ймовірності відмови обладнання, і, як наслідок, зниження надійності.

Так як в результаті технічного прогресу все електрообладнання зміщується у бік мікропроцесорної техніки, отже, медичні електроапарати не стали винятком. Мікропроцесорне обладнання більш чутливе до перебоїв в електропостачанні і як наслідок для безперебійного та надійного живлення

електричною енергією необхідні кращі умови постачання приміщень лікарень. Недооцінка забезпечення вимог безпеки, якості електропостачання може призвести до заподіяння непоправної шкоди для пацієнтів як у результаті прямого ураження електричним струмом, так і виходу з ладу відповідальних систем життєзабезпечення.

Варто зазначити також, що електроспоживачі багатoproфільних лікувальних закладів і самі впливають на якість електроенергії в мережі, викликаючи несиметрію, несинусоїдність, коливання напруги, перехідні електромагнітні перешкоди. Це викликано нерівномірним розподілом по фазах однофазних споживачів, різко змінним і нелінійним характером навантаження, і, своєю чергою, призводить до збільшення втрат потужності та електроенергії, тобто. позначається на економічних показниках.

Щоб уникнути проблем із встановленням закордонного електрообладнання, необхідно ретельно звіряти паспортні параметри цього обладнання з електричною мережею медичного закладу. Найчастіше цим пунктом нехтують, у результаті доводиться змінювати як електричну схему електроживлення, а частково чи повністю проводити реконструкцію самого медичного закладу (приміщення).

Сучасній багатoproфільній лікувальній установі необхідно якісно постачати електричну енергію, з дотриманням усіх норм, відображених у нормативних документах (ГОСТів, ДСТУ, ПУЕ тощо). Для цього необхідно спроектувати систему електропостачання.

З усього вищевикладеного можна зробити висновок, що проблема побудови та проектування системи електропостачання багатoproфільних лікувальних закладів є актуальною.

#### **Мета і завдання дослідження.**

Метою роботи є проектування надійної, безпечної системи електропостачання багатoproфільного лікувального закладу з урахуванням вимог щодо якості електричної енергії.



Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати характерні для багатoproфільних лікувальних установ електроприймачі, що пред'являються ними до системи електропостачання вимог щодо надійності, якості електропостачання, безпеки;
- визначити можливі варіанти побудови схеми електропостачання, вибору обладнання, дати оцінку;
- розробити схему електропостачання лікувального закладу з урахуванням рекомендацій, викладених у методиці.

**Об'єктом дослідження** є електрична мережа лікувального закладу.

**Предмет дослідження** – розробка заходів щодо забезпечення надійної та безпечної системи електропостачання.

**Методи дослідження** – основні закони електротехніки, методи теорії електричних мереж та електричних машин, методи математичних обчислень.

**Наукова новизна отриманих результатів.**

– Дістало подальший розвиток розробка та вибір заходів щодо забезпечення якості електроенергії системи електропостачання лікувального закладу.

**Практичне значення отриманих результатів.** Даний проект може бути реалізований на реально існуючому об'єкті.

**Апробація.**

Основні положення та результати досліджень доповідались та обговорювались на XII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 6-7 грудня 2023 р., на базі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

**Структура роботи.** Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (22 найменування).

Загальний обсяг текстової частини – 76 сторінок.

## 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Вимоги до надійності системи електропостачання лікувального закладу

Резервування – це основний метод підвищення надійності системи енергопостачання. Він полягає у використанні додаткових засобів та/або можливостей, що дозволяють забезпечити працездатний стан об'єкта при виході з ладу одного або кількох його елементів. У зв'язку з вимогами надійності, що висуваються до електроприймачів, визначаються обсяги та способи резервування.

Електроприймачі можна поділити на три категорії надійності, у I категорії виділяється особлива група [3].

До I особливої категорії належать електроприймачі, які забезпечують безперебійну роботу, яка запобігає будь-яким загрозам життю людей. У лікувальному закладі це електроспоживачі в операційних та післяопераційних палатах, реанімаційних палатах, приймально-оглядових боксах.

До I категорії загалом ставляться електроприймачі, які забезпечують електропостачання, при перерві якого виникає небезпека життя людей. У багатопрофільному лікувальному закладі значне число таких електроприймачів (пожежна сигналізація; вентилятори підпору повітря, димовидалення; пасажирські ліфти та підйомні платформи тощо).

II категорія включає електроприймачі, при перерві електропостачання їхнє відключення призводить до порушення нормального режиму функціонування установ.

Чим надійніший електроприймач, тим коротше припустима перерва електропостачання, відповідно електроприймачі I категорії можуть бути відключені тільки на час автоматичного введення резерву, тобто. на частки секунд. На необхідний включення резервного живлення черговим персоналом чи оперативної бригадою час можна відключати електроприймачі II категорії.

Третє незалежне джерело живлення особливої групи електроприймачів та інших електроприймачів першої категорії може бути представлений місцевою електростанцією, електростанцією енергосистеми, спеціалізованими джерелами спеціального призначення (з безперебійним живленням), акумуляторами тощо.

Системи електропостачання для живлення електроприймачів, виходячи з вимог надійності, також поділяються на кілька видів, у тому числі на СБЕ (система безперебійного електропостачання), СГЕ (система гарантованого електропостачання) та СЗЕ (система загального електропостачання) [3]. У багатопрофільних лікувальних закладах використовують, як правило, усі три системи електропостачання.

Система безперебійного електропостачання (живлення) чи СБЕ (СБЖ). Саме від неї електроприймачі I категорії отримують живлення. Термін «СБЕ» є ширшим, а й термін «СБЖ» можна застосовувати, оскільки його походження безпосередньо з джерелами безперебійного живлення.

Система безперебійного електропостачання або (СБЕ) є пристроєм, який забезпечує енергією електромережу у разі відключення основних джерел зовнішнього електропостачання. Вона працює за рахунок енергії, яка зберігається в спеціальних акумуляторах, і дозволяє підтримувати нормальне функціонування електричної системи протягом певного часу, доки не буде відновлено зовнішнє електропостачання або не буде включено резервні джерела гарантованого електропостачання. Крім того, СБЕ дозволяє забезпечити електроприймачі електроенергією, аналогічною за якістю нормального режиму. СБЕ зберігає безрозривність електропостачання та можливість коректно завершити технологічні процеси із збереженням інформації та перейти на тимчасовий автономний режим роботи. При цьому, як зазначено раніше, якість електроенергії відповідає необхідним показникам, а обладнання здійснює функціонування зі збереженням електромагнітної сумісності.

Система гарантованого електропостачання (СГЕ) – це електроустановка, яка здійснює електропостачання споживачів при відключенні основних джерел живлення. При нормальному режимі роботи резервне джерело вимкнено, і

споживачі II категорії отримують живлення разом із споживачами III категорії безпосередньо від основних джерел живлення.

Як резервні джерела живлення на даний момент використовують:

- джерела безперебійного живлення (ДБЖ або UPS) - це система, що складається з акумуляторної батареї, зарядного пристрою та інвертора. До переваг ДБЖ можна віднести практично повну відсутність паузи при перемиканні на резервне живлення і назад, автономність та доступність технічного обслуговування до моменту зносу акумуляторної батареї. Недоліками ДБЖ є залежність часу роботи від ємності батареї (у разі відсутності додаткових джерел електропостачання її неможливо зарядити), велика питома вага та висока вартість (ДБЖ високої потужності);

- сонячні батареї – альтернативне джерело електроенергії, висока екологічність якого пов'язана з низьким ККД (залежність від кліматичних умов) та складністю обслуговування, високою вартістю. Крім того, їх використання також потребує наявності акумулятора (для забезпечення роботи в нічний годинник та хмарні дні, розподілу потоків випромінювання) та інвертора;

- портативні гідроелектростанції - відносно новий винахід, який поки що не набув широкого поширення, оскільки потребує наявності поблизу швидкоплинної річки, дозволу органів влади та екологічних організацій;

- газові електростанції - адаптовані під використання газу бензинові генераторні станції та станції з газопоршневими двигунами. Бензинові станції відрізняються низьким рівнем надійності, вони не захищені за умовчанням (зокрема від перегріву двигуна та витoku газу), їх дуже дорого автоматизувати та модифікувати. Станції з газопоршневими двигунами розраховані більш високі потужності (від 20 кВт) і використовуються електропостачання населених пунктів і великих промислових підприємств;

- вітряні електрогенератори – ще одне альтернативне джерело електроенергії, що має ряд недоліків: потребує певних кліматичних умовах (вітер), віддалене розташування (супроводжується звуковим випромінюванням, часом небезпечним для здоров'я). Аналогічно сонячним батареям потребує

акумулятора та інвертора;

- бензинові та дизельні генераторні станції – на даний момент найбільш поширене джерело резервного живлення. До нього перевагам відносять високу тривалість роботи з можливістю дозаправки, доступність палива, велика різноманітність моделей (від недорогих ручних станцій до повністю автоматизованих систем). Вищезгадані переваги нівелюють недоліки: шум, низьку екологічність, тимчасові витрати на запуск і прогрів двигуна. Проаналізувавши сказане вище, можна відзначити, що найбільш застосовними резервними джерелами живлення є станції з газопоршневими двигунами, бензинові та дизельні генераторні станції.

Найбільш важлива вимога до резервного джерела живлення – його незалежність [4]. Незалежність джерела електропостачання визначається багатьма чинниками. Наприклад, типом застосовуваного вихідного палива: якщо тиск у паливній магістралі значно впаде або зовсім подача природного газу припиниться, то електростанція з газопоршневими двигунами не вироблятиме електроенергію, отже необхідно використовувати ще один резерв у вигляді ДБЖ або бензинової станції. Це позначиться на фінансових витратах. Вибираючи між бензиновим та дизельним генератором, необхідно врахувати, що вартість експлуатації дизельного генератора нижча за вартість експлуатації бензинового, причому дизельний генератор має більший ресурс. Отже, в залежності від цілей експлуатації потрібно купувати той чи інший генератор: якщо необхідна довга і безперебійна експлуатація, то краще придбати генератор з дизельним двигуном, а якщо потрібна невелика потужність при рідкому використанні - бензиновий.

Медична установа відноситься, звичайно ж, до першого випадку: резервне джерело має забезпечувати електропостачання у разі виходу з ладу основного джерела живлення так довго, як це можливо, тому доцільніше використовувати генератор з дизельним двигуном.

Система загального електропостачання (СЗЕ) – це система електропостачальної організації, що забезпечує електроенергією різних споживачів.

## 1.2 Якісні вимоги до електроенергії в лікувальному закладі

Проектуючи медичний заклад, необхідно брати до уваги показники якості електроенергії [5, 6]: їх відхилення від нормованих значень можуть стати причиною виходу з ладу медичного електроустаткування через порушення умов експлуатації.

Крім того, коливання в системі часто викликані самими електроприймачами з несиметричним та нелінійним навантаженням. Така особливість електроприймачів пов'язані з електромагнітною несумісністю - тобто. нездатністю технічного обладнання функціонувати належним чином у створеній електромагнітній обстановці; за таких умов засіб генерує неприпустимі значення електромагнітних перешкод для решти обладнання.

Повільна зміна навантаження викликає відхилення напруги від норми. Існують значення нормально допустимих відхилень напруги на висновках приймачів електричної енергії, що становить  $\pm 5$  від номінальної напруги електричної мережі, та значення гранично допустимих відхилень - їхня величина  $\pm 10\%$  від номіналу [5,6]. І зниження, і підвищення напруги негативно впливає на роботу всіх електроприймачів мережі. Асинхронні двигуни та освітлювальні лампи особливо чутливі до відхилення напруги. Якщо напруга, що підводиться до асинхронних двигунів, знижується, відбувається різке зменшення крутного моменту двигуна і значне зростання витоку електроенергії пропорційно зростанню робочого струму. Як відомо, асинхронний двигун здатний саморегулюватися за потужністю: активна потужність двигуна практично не змінюється за зміни напруги, тобто. величина струму змінюється (збільшується/зменшується) обернено пропорційно напрузі. Зниження напруги ініціює активне зростання реактивної потужності. Остання розсіюється за рахунок реактивного опору ліній електропередачі та трансформатора.

Коли напруга підвищується, зростає і споживана потужність і світловий потік люмінесцентних ламп. Зниження напруги відповідно зменшує ці ж показники, проте не настільки значною мірою, як у ламп розжарювання. Взагалі,

важливо розуміти, що будь-яке відхилення напруги (і негативне, і позитивне) негативно впливає на люмінесцентні лампи: погіршує запалення, скорочує експлуатаційний термін і т.д. Така якість люмінесцентних ламп, як посилене споживання реактивної потужності у разі збільшення напруги, що підводиться до них, визнано істотним недоліком цих пристроїв.

Як і інше сучасне обладнання, медична апаратура постійно вдосконалюється, модифікується із застосуванням передових технологій і нині нерозривно пов'язана з ЕОМ. Прилади підключені до комп'ютерів управління, що дозволяє зберігати електронні результати аналізів, досліджень, діагностичні апарати працюють за заданими програмами, оснащені сенсорними дисплеями, термодатчиками, здійснюють зв'язок із серверами, оновлюють бази даних хворих.

Цей зв'язок викликає і негативні наслідки: стрибки напруги призводять до збоїв у роботі обладнання, втрати даних. Підвищене споживання струму при коливаннях напруги викликає відмовлення блоків живлення (при зниженій напругі) до перегріву обладнання (при підвищеній напругі). Зміни в напругі електромережі пов'язані з коливаннями навантаження на мережу, які можуть відбуватися протягом кількох секунд або напівперіоду. Такі коливання виникають через роботу потужних електроприладів, які споживають велику кількість активної та реактивної потужності з різкими, імпульсними змінами [6]. Медичне обладнання також відноситься до таких приймачів: це характерно для УЗД, мамографів, електродвигунів при пуску, а також апаратів, лікувальна дія яких ґрунтується на впливі імпульсів (апарат магнітотерапії, електростимуляції, фонофорезу, прилад ударно-хвильової терапії тощо).

Коли значення коливань напруги підвищуються більш ніж на 15%, нормальна робота електродвигунів може бути порушена, контакти магнітних пускачів можуть відпадати і як наслідок відключати працюючі двигуни. Навіть у межах 10-15% коливання напруги здатні впливати на батареї конденсаторів, виводити їх з ладу [6]. Таким чином, коливання напруги призводять до різноманітних негативних наслідків: відключення автоматичних систем

управління, пошкодження обладнання, вібрацій у механізмах та багато іншого [6].

Пульсація світлового потоку ламп освітлення, викликана коливаннями напруги, називається флікером. У невеликих дозах таке «миготіння» просто втомлює, при тривалому впливі впливає на психосоматичне та фізичне здоров'я людей. Міра сприйняття людиною пульсацій світлового потоку так і називається – дозою флікера. При проектуванні багатопрофільних лікувальних закладів важливо звернути увагу на заходи, що знижують коливання напруги в мережі.

Під впливом нерівномірного розподілу навантажень трифазної мережі виникає несиметрія напруг. Ймовірною причиною несиметрії напруг [7] є несиметричні споживачі електроенергії з різним числом фаз (однофазні та двофазні) та симетричні споживачі (трифазні). Несиметрія напруги може призвести до скорочення терміну служби обладнання, наприклад, силових трансформаторів. Експлуатація споживачів з 1-ою, 2-ма та 3-ма фазами в умовах неномінального режиму напруги викликає той же ефект, що і відхилення напруги. Конденсаторні батареї також піддаються впливу несиметрії напруги. Різниця у значеннях напруги фаз зношує апаратуру. Як приклад цього негативного впливу розглянемо звичайну лампу розжарювання, яку підключили на фазу з підвищеною напругою, внаслідок чого її освітленість зростає, але термін експлуатації значно знизиться. Релейний захист і автоматика медичної техніки також страждає від несиметрії напруги: виникають помилкові спрацьовування на сигнал або відключення.

Коли синусоїда (форма кривої напруги) спотворюється, то така крива характеризується несинусоїдністю напруги. Спотворення виникає через падіння напруги на тлі протікання по елементах електричної мережі струму, споживаного електроприймачами з нелінійною вольт-амперною характеристикою. Таке спотворення синусоїдальної форми напруги можна спостерігати при перевантаженні трансформатора: при роботі в близькому до насичення режимі або безперебійного живлення від батарей. Напруга здатна змінювати форму від меандру (прямокутна) до практично чистої синусоїди.



Несинусоїдальні лінії напруги здатні порушити ізоляцію кабельних ліній електропередач (і конденсаторів) та призвести до однофазних коротких замикань на землю. Все це негативно впливає на електричні машини, в тому числі і трансформатори: приносить значні сумарні втрати, збуджує зростання неврахованої електроенергії, викликане гальмуючим впливом гармонік зворотної послідовності на індукційні лічильники, формує помилки в роботі пристроїв управління та захисту, виводить з ладу Високотехнологічну техніку.

За недостатньої потужності електростанцій системи відбувається зниження частоти. Великі аномалії частоти з'являються в результаті повільної систематичної зміни навантаження при недостатньому запасі активної потужності. Якщо частота в електроенергетичній мережі відхиляється від номінальної, це може призвести до збільшення втрат активної потужності в мережі та збільшення споживання активної та реактивної потужностей.

Знижена частота може негативно позначитися на роботі електротехніки, такий як електродвигуни, трансформатори, реактори із залізними магнітопроводами і т.д. Це пов'язано зі збільшенням струму намагнічування в агрегатах зі сталлю та додатковим нагріванням сталевих сердечників.

Відмови обладнання можуть відбуватися через ЕМПШ. Причина виникнення ЕМПШ, це класичний перехідний процес (ПП), які виникають у мережі при перехідних процесах. Діапазон тривалості ПП варіюється від декількох періодів, до декількох секунд, а частота ЕМПШ на піку значень може досягати величини, що дорівнює 10–12 МГц.

Немає будь-якого еталонного чисельного значення перешкоди, але її прийнято розглядати як порушення електросумісності.

Різке збільшення напруги тривалістю менше 10 мілісекунд називається імпульсом напруги. Імпульсна напруга виникає під час грози при комутаціях (у тому числі при вимкненні струмів КЗ) такого обладнання, як трансформаторів, двигунів, конденсаторів та кабелів. Наприклад, відключення роздільного трансформатора потужністю 1 *kVt* мережі 220/220В викликає викид високовольтного імпульсу напругою всієї накопиченої трансформатором енергії

(до 2 кВ). Комутаційні імпульси в мережі 380 В складають не більше 4,5 кВ.

Якщо живлення трансформаторну підстанцію 10/0,4кВ подається за допомогою повітряних ліній електропередач, то можлива поява грозового імпульсу в кабельній мережі, який проникає в неї разом з повітрям, так буває, наприклад, в мережах сільської місцевості. Міські мережі, як правило, не схильні до виникнення грозового імпульсу, так як лінії високої і низької напруги є кабельними.

Раптове та значне підвищення напруги (більше 110% інше) тривалістю понад 10 мілісекунд називають тимчасовим перенапругою, що виникає при комутації обладнання та при коротких замиканнях на землю.

Якщо трифазної мережі з напругою більше 1 кВ відбувається обрив нульового робочого провідника, який заземлений, виникає тимчасове перенапруга між фазою і землею. Ця перенапруга може досягати рівня міжфазної напруги і продовжуватись до декількох годин, особливо якщо навантаження на фазах несиметричні. Такий обрив може призвести до збоїв у роботі обладнання, скоротити їх термін служби та викликати порушення робочого режиму, а в крайніх випадках навіть призвести до займання електроустаткування та електроприймачів.

Також шкідливі і провали напруги з подальшим відновленням напруги - раптові значні зниження напруги, що тривають до кількох десятків секунд. Причин таких провалів напруги може бути кілька: по-перше, це спрацьовування засобів захисту та автоматики під час негоди та помилкові спрацьовування захисту, по-друге, виникнення короткого замикання (КЗ) та по-третє, помилкові дії оперативного персоналу.

Збільшення потужності енергосистеми та кількості повітряних ліній начебто повинні підвищувати надійність електропостачання, але існує парадокс: це може мати і негативні наслідки, оскільки вони можуть знизити надійність функціонування складних електронних систем управління та підвищити кількість відмов від перешкод чутливих електроприймачів. Коли справа стосується медичної техніки, це неприпустиме явище.

Низька якість електроенергії може призвести до поломки пристроїв компенсації нелінійних, несиметричних та ударних навантажень, що може спричинити асиметрію коливань та гармонік напруги. Це може призвести до помилкового спрацьовування релейного захисту, аварійного відключення обладнання або інших негативних наслідків. За наявності гармонік і збої передачі інформації по силовому колі можуть бути подані невірні команди управління комутаційною апаратурою.

З описаного вище, виходить, що різноманітне електрообладнання лікувальних закладів в тій чи іншій мірі схильне до можливих неполадок в енергопостачанні різного ступеня виходячи з виду спотворень, що виникають. Ці неполадки істотно впливають на якість електроенергії: чим вища аварійність електромережі, тим нижчі показники якості електроенергії, навіть якщо вони лежать у допустимих інтервалах.

### **1.3 Висновки до розділу 1**

Медичні заклади потребують надійного електропостачання, щоб забезпечити нормальне функціонування та безпеку пацієнтів та персоналу. Зазвичай електроенергія використовується для живлення медичного обладнання, освітлення та інших систем. Однак електропостачання медичних закладів має свої особливості та потребує суворого дотримання норм та правил безпеки. Необхідно враховувати споживання електроенергії у різних зонах лікувального закладу та вживати заходів щодо енергозбереження.

Аналіз електроприймачів у багатопрофільних лікувальних закладах показав, що обладнання має різні функції та рівень складності. Високотехнологічне обладнання потребує надійної та безпечної системи електропостачання з якісною електроенергією. Для забезпечення надійності електропостачання багатопрофільних лікувальних закладів необхідна система безперебійного живлення на основі джерел безперебійного живлення (ДБЖ) та схема паралельно включених ДБЖ з резервуванням  $N + 1$ ; дизель-генераторна

установка (ДГУ) та пристрій автоматичного включення резерву (АВР) для перемикання живлення на резервний – ДГУ. Якість електроенергії відіграє важливу роль для електрообладнання медичних установ, і для підтримки якості електроенергії на допустимому рівні необхідно розподіляти навантаження по фазах, вибирати обладнання з покращеними характеристиками, компенсувати реактивну потужність у мережі, застосовувати обмежувачі перенапруги (ОПН) та пристрої захисту від імпульсних перенапруг, розрядники. Безпека для споживачів електроенергії багатoproфільних лікувальних закладів є особливо важливою, і для цього необхідно передбачати медичну систему, медичні розділові трансформатори, захисне заземлення, зрівняння потенціалів.

## 2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Система безперебійного електропостачання

Система безперебійного електропостачання – це електроустановка, призначена для автономного забезпечення електроприймачів електроенергією, якщо основні джерела вийшли з ладу з якихось причин. Система здатна забезпечити період роботи (мінімальний час), якого вистачить на запуск системи резервного електропостачання, наприклад, генераторної бензинової станції.

СБЕ базується на джерелах безперебійного живлення, які відрізняються технічними характеристиками, потужністю та конструкцією, але виконують загальну функцію: забезпечують надійну та стабільну наявність електроенергії. Коли мова заходить про багатопрофільні лікувальні заклади, то краще використовувати ДБЖ із здатністю підтримувати належний рівень якості електроенергії на вході електроприймача у нормальному режимі роботи системи зовнішнього електропостачання. Якщо ж якість електроенергії буде неприпустимою, джерело відреагує переходом системи в автономний режим, тобто режим живлення від батарей. Зміна якості пов'язана в першу чергу з напругою БЦ, яка на вході в ДБЖ не повинна виходити за встановлені рамки, інакше система знову переключиться на автономний режим роботи. Це найбільш проблемний фактор ДБЖ, оскільки вони досить несприйнятливі до інших порушень показників якості електроенергії.

Для СБЕ характерні такі показники: встановлена потужність, надмірне резервування та час автономної роботи. Загалом номінальна потужність ДБЖ залежить від розрахункової потужності та ступеня надмірного резервування. Якщо останнє максимально, то СБЕ включає два джерела безперебійного живлення – робоче та резервне. Це не найпопулярніший варіант через дорожнечу. А ось найпоширеніший спосіб резервування – це  $N + 1$  чи схема «гарячого резерву». Вона називається саме так, тому що резервується тільки

частина потужності ДБЖ, що знаходиться під навантаженням, яке і використовуватиметься якщо робоче джерело вийде з ладу. Можна побудувати систему безперебійного енергопостачання взагалі не резервуючи потужність, але зазвичай так не роблять через те, що практика і теорія сильно відрізняються: за часом автономної роботи на номінальному навантаженні залежить тільки від ємності акумуляторних батарей, але в реальній енергоустановці воно сильно зростає якраз через надмірне резервування та дискретність шкали номінальних потужностей.

## 2.2 Основні принципи побудови систем безперебійного електропостачання лікувального закладу

Отже, підхід до будівництва СБЕ та вибору схем залежить від таких факторів, як вимоги до надійності роботи системи, кількість фідерів, необхідна потужність.

Зазвичай виділяють дві класичні системні структури: розподілена (електроприймач живляться від окремих ДБЖ (рис. 2.1)) та централізована (живлення від потужного ДБЖ (рис. 2.2)) [8].

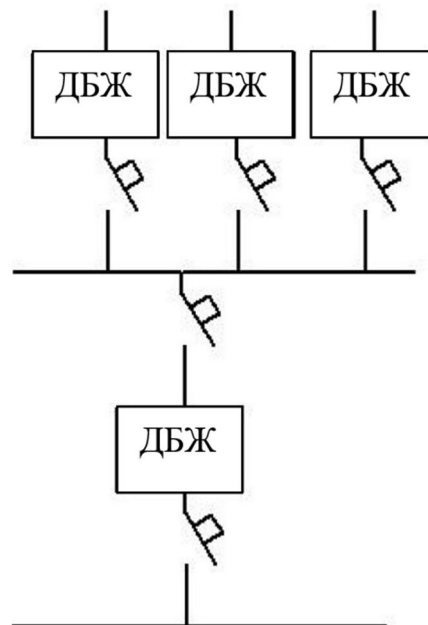


Рисунок 2.1 – Розподілена система безперебійного електропостачання.

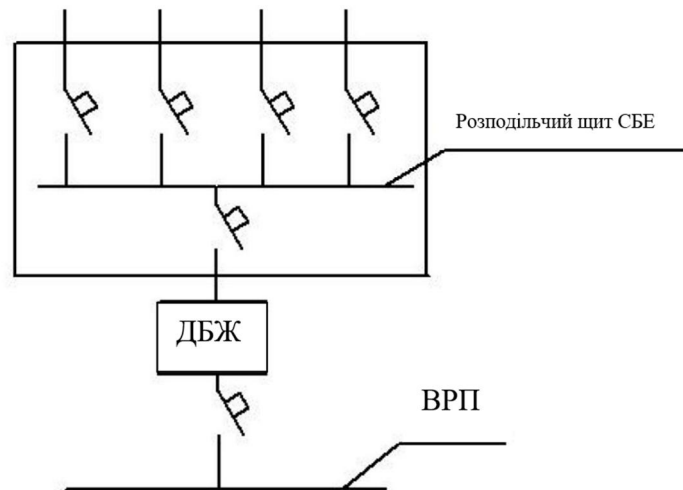


Рисунок 2.2 – Централізована система безперебійного електропостачання.

До переваг розподіленої системи можна віднести простоту застосування (можливе підключення ДБЖ малої потужності прямо в розетку, розташовану в приміщенні), легкість налаштування, можливість тільки часткового відключення для заміни ДБЖ, що вийшов з ладу, логістичну простоту (не потрібно виділяти спеціальне приміщення). Централізована СБЕ та розподільна СБЕ мають загальні характерні ознаки.

У розподіленої системи також є недоліки. Через те, що всі ДБЖ не можуть видати номінальне навантаження, встановлена потужність використовується неефективно, а час автономної роботи для всіх навантажень різний. Якщо буде підключено додаткове навантаження або станеться КЗ в ланцюзі, тобто ймовірність зіткнення з недостатньою перевантажувальною здатністю системи.

Нейтральний провідник зазвичай призначений для повернення струму від навантаження до джерела живлення. Однак у деяких випадках у нейтральному провіднику можуть з'являтися струми, що перевищують струми фазових провідників. Це може призвести до перевантаження нейтрального провідника та порушення електромагнітної сумісності усієї системи.

У централізованій структурі СБЕ є плюси (висока ефективність встановленої потужності ДБЖ та ємності батарей, стійкість до перевантажень), відсутність навантажень нейтрального провідника на ділянці від введення до

ДБЖ. В автономному режимі СБЕ працює значно довше, ніж розподілена (через план «деградації»). Також у централізованій системі немає перевантаження. Недолік централізованої системи (найсуттєвіший) - це неможливість абстрагуватися від розподільної мережі безперебійного електропостачання або ДБЖ, отже їх поломка призводить до непрацездатності всієї системи.

Системи рідко зустрічаються в експлуатації самі собою, найчастіше використовується поєднання централізованої (постачання електроенергією обладнання з однорідною структурою) та розподіленої системи (рис. 2.3).

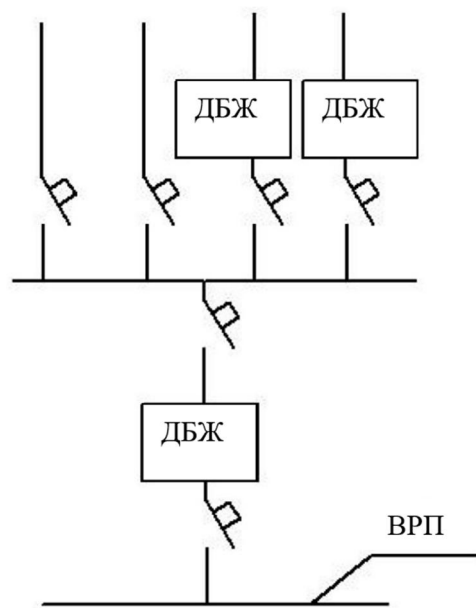


Рисунок 2.3 – Дворівнева система безперебійного електропостачання.

Під надійністю системи розуміється сукупність явищ, які забезпечують збереження режиму роботи системи в цілому, навіть якщо в ній вийшли з ладу деякі компоненти. В надійність системи також включаються пошук та заміна цих компонентів для відновлення працездатності всіх елементів.

СБЕ стійка до відмов через раніше описаний принцип  $N + 1$  (дворівнева схема електропостачання та надмірність комплексу ДБЖ). Щоб робота системи тривала навіть у разі відмови одного чи кількох її елементів, найважливіші компоненти системи піддаються резервуванню. Паралельний комплекс із потужних трифазних ДБЖ продовжить функціонувати при відмові одного з них



(рис. 2.4). Кількість ДБЖ визначається так, щоб справні джерела, що залишилися в роботі при несправності інших, продовжили навантаження відповідно до принципу RPA - Redundant Parallel Architecture [9]

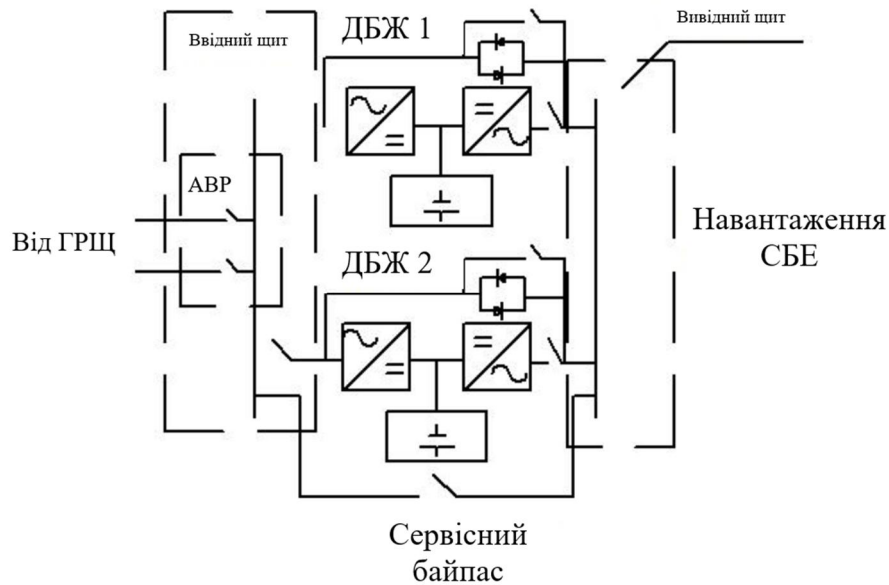


Рисунок 2.4 – Паралельний комплекс ДБЖ

Можна збудувати паралельний комплекс двома способами. Перший спосіб – централізований. Будівництво проводиться шляхом створення статичного перемикача обхідного кола байпаса (об'єднувального блоку). Цей перемикач враховує всю вихідну потужність комплексу. Другий спосіб називається модульним чи децентралізованим. Схема, що впливає із назви, будується без загального блоку. Таким способом можна без обмежень укрупнювати комплекс шляхом додавання нових джерел безперебійного живлення. Нині переважно використовується саме другий метод [9].

Ця система управління не має єдиного центру управління, який б керував централізованою чи модульною структурою. Блок керування, який синхронізує роботу паралельного комплексу у джерелах безперебійного живлення (ДБЖ), може бути замінений на будь-який аналогічний, що забезпечує простоту та надійність системи у разі поломки. Якщо будь-який елемент виходить з ладу, його можна легко замінити або відремонтувати, не перериваючи нормальну роботу системи. Тому, паралельний модульний комплекс без об'єднавчого

блоку із резервуванням шини управління є найбільш популярним вибором, включаючи у мережах медичних установ [9].

Крім паралельної схеми СБЕ можливе і побудова послідовної схеми: резервування здійснюється через додавання резервного ДБЖ на вхід байпаса (рис. 2.5). Незважаючи на наявність включеного резерву, у робочому процесі він не бере участі. Послідовний спосіб застосовують у будинках, що не допускають паралельної централізованої СБЕ (її там просто ніде розмістити). Тоді як послідовний метод використовується, коли потрібно розмістити ДБЖ у невеликих не спеціально створених приміщеннях у поліклініці.

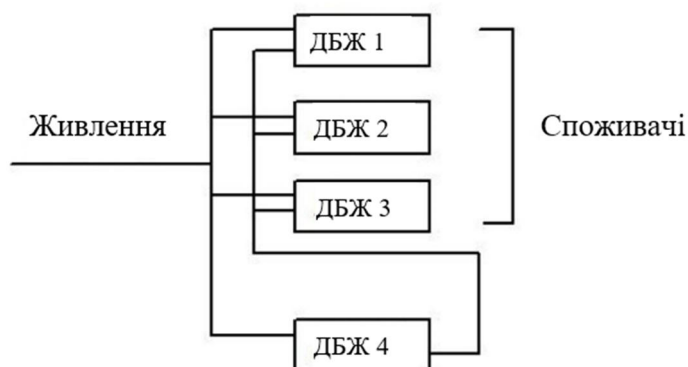


Рисунок 2.5 – Електрична схема СБЕ у режимі роботи bypass

Електрична схема СБЕ в режимі роботи bypass має ряд переваг перед електричною схемою паралельного комплексу ДБЖ.

На рис. 2.6 зображено схему послідовного «гарячого резерву». Саме вони є попередниками стійких до відмови. На даний момент такі схеми дещо втратили актуальність через появу систем RPA та наявність вад, які відсутні в паралельних системах.

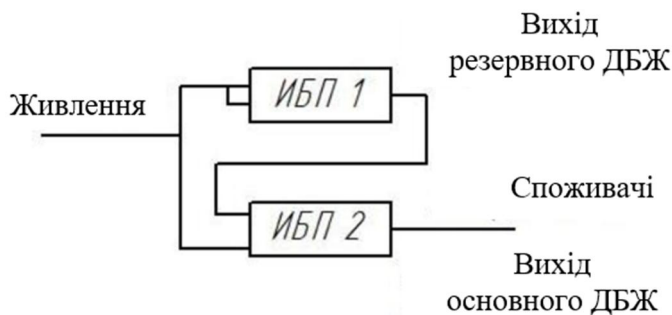


Рисунок 2.6 – Електрична схема з'єднань «гарячого резерву»

Проектування лікувальних закладів передбачає низку вимог: «Медичні установи необхідно забезпечувати аварійними джерелами електроживлення, які дозволяють б підтримувати нормальну роботу медичного обладнання протягом заданого періоду часу та час приведення в дію яких не перевищувало б часу, встановленого відповідними нормами. Якщо на одному або кількох лінійних провідниках головного розподільчого пристрою напруга знизиться більш ніж на 10% щодо номінального, повинна автоматично вмикатися система аварійного електропостачання. Перемикання електроживлення має відбуватися із затримкою часу, достатньої для нормального спрацьовування комутаційних апаратів та запобігання хибним спрацьовуванням» [10]. Виділяють наступні СБЕ (за часом та швидкістю перемикання):

- системи, які перемикаються протягом менше половини секунди. У поліклініках такі системи дозволяють зберегти освітлення у процесі операційного втручання, автономне живлення триває понад три години;

- системи з часом перемикання від 0,5 до 15 секунд. У поліклініці вони відповідають за аварійне світло, ліфти, димовідведення, мед. обладнання для подачі газу, введення анестезії, функціонування системи пожежної сигналізації та пожежогасіння. Такі системи підтримують електроживлення щонайбільше протягом доби. Період може бути значно коротшим, близько 3 годин, якщо особливість медичного закладу дає можливість протягом даного періоду завершити всі без винятку невідкладні операції та евакуюватися;

- системи, які перемикаються у часовому діапазоні від п'ятнадцяти секунд. Це забезпечення роботи обладнання, яке не відноситься до найважливіших для підключення і зазвичай використовується в допоміжних цілях (стерилізатори, кондиціонери, холодильники, зарядні пристрої тощо). Час живлення становить мінімум 24 години.

Якщо основна мережа живлення виявиться несправною, освітлення забезпечить аварійна. Важливо, щоб аварійне освітлення спрацювало не більше ніж через 15 секунд після відмови, оскільки саме воно потрібне для підсвічування евакуаційних виходів та шляхів, освітлення аварійного

електроустаткування (наприклад, генераторів) та інших життєво важливих об'єктів багатопрофільного медичного закладу.

Система аварійного електропостачання повинна мати можливість перемикання на джерело живлення протягом 15 секунд. Це джерело може бути або резервним введенням з іншого трансформатора на підстанції, або джерелом безперебійного живлення (ДБЖ). Інші варіанти неможливі, так як в інших випадках мінімальний час перемикання занадто велике, наприклад, перемикання на дизель-генератор «гарячого резерву» займе 1-1,5 хвилини, оскільки двигун потрібно прогріти вхолосту, щоб уникнути глушення.

Таким чином, для мед закладів слід обирати паралельні та дворівневі (надлишкові) схеми СБЕ (другий рівень - обладнання для операцій, проведення реанімації, забезпечення функціонування палат інтенсивної терапії тощо).

### **2.3 Система гарантованого електропостачання**

Система гарантованого електропостачання (СГЕ) називають запасну аварійну систему. Вона забезпечить роботу мережі та експлуатуватиметься, коли основні джерела живлення вийдуть з ладу. Як система гарантованого енергопостачання часто використовують дизель-генераторні установки (ДГУ), що входять до складу дизель-електричної станції (ДЕС). Коли ДГУ запускаються, фідери особливої групи I категорії надійності забезпечуються електрикою від акумуляторів ДБЖ. На рис. 2.7 можна побачити, як функціонує комплекс СБЕ-СГЕ під час аварійного відключення живлення та після ліквідації несправностей.

Робота комплексу СБЕ-СГЕ починається з відмови основного живлення і переходу живлення від ДБЖ. Фідери особливої категорії живляться від акумуляторів (зазначено вище). Потім менш ніж за 2 хвилини запускається та виходить у номінальний режим ДГУ, забезпечується живлення системи з нормальним навантаженням. Вся система безперебійного енергопостачання автоматично перемикається на живлення від дизель-генераторної установки,

яка живить джерела безперебійного енергопостачання, а ті в свою чергу заряджають акумулятори.

Коли основне живлення відновлено, фідери переходять на СЗЕ, а робота ДГУ припиняється аж до появи нової аварії.

Робота СГЕ та СБЕ сильно залежить від часу автономності. Для першої системи воно визначається обсягом дизеля, тобто обсягом баків, для другої – ємністю акумулятора.

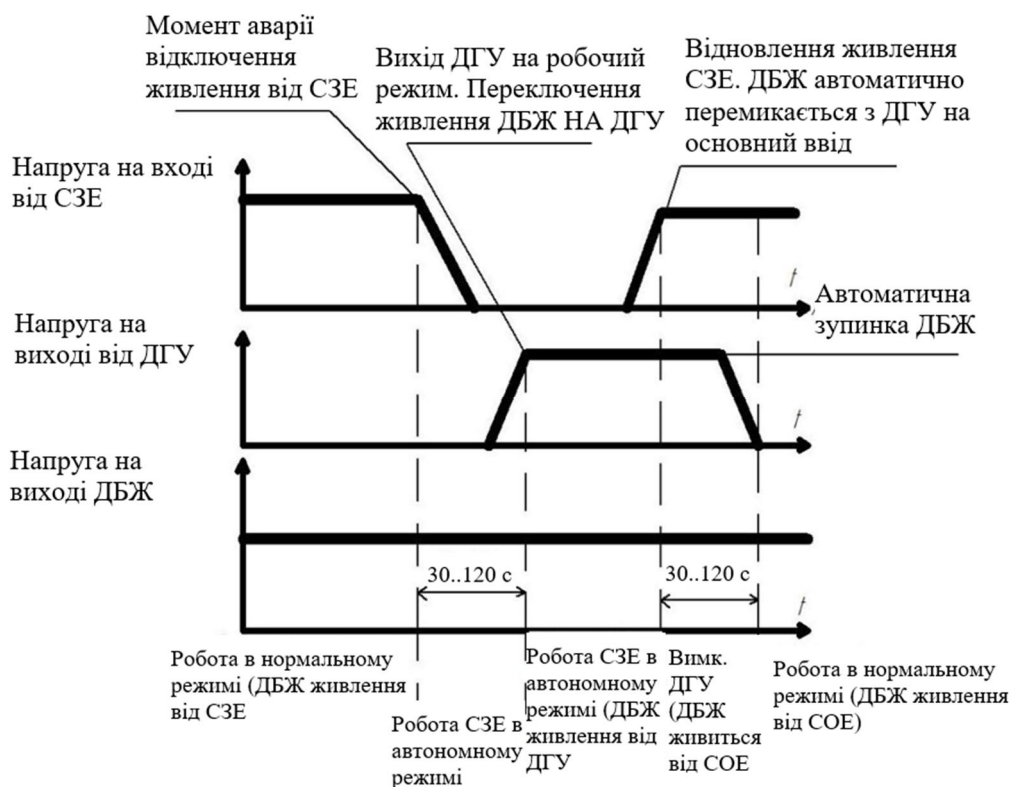


Рисунок 2.7 – Часова діаграма роботи комплексу СБЕ-СГЕ

Проектування системи гарантованого електропостачання передбачає необхідність виділення окремої секції шин  $0,4 \text{ кВ}$  для навантаження споживачів I та II категорій, внаслідок чого вдається оптимізувати встановлену потужність ДГУ та підвищити відмовостійкість системи.

**Сформулюємо ряд важливих умов для використання СГЕ**, виходячи з даних про надійність. По-перше, автоматизована ДГУ може бути використана як резервуюче джерело живлення, якщо схема АВР дозволяє. Це уточнення пов'язане з необхідністю виключити роботу двох незалежних джерел живлення

на загальні шини та електричне та механічне блокування комутаційної апаратури. Коли в системі є ДБЖ, не потрібно турбуватися про час перемикання резерву, оскільки воно не є особливо вирішальним фактором і цілком ґрунтується на якостях та кількостях фідерів. Щоб система не спрацьовувала даремно при перемиканні АВР на боці високої напруги, треба врахувати, що напруга може набути нормальних значень і дати певну паузу спрацьовування, перш ніж система почне перемикатися, коли відмовить живлення. Змінюючи пороги спрацьовування АВР для кожного введення, зберігаючи їх у контрольованих межах, можна підключати ДБЖ до виходу АВР з урахуванням узгоджених діапазонів вхідної напруги обох пристроїв і вчасно переключитися на резервне живлення (якщо після тимчасової затримки напруга так і не повернеться в потрібний діапазон). Це дозволить скоротити час роботи ДБЖ від батарей, замінивши їх на резервні вводи. В АВР важливо передбачити систему індикації та можливість ручного керування. В АВР електромеханічного типу, виконаних на контакторах, керування базується на автоматичних вимикачах та перемикачах з електроприводом, це найбільш раціональні способи керування. Щоб унеможливити взаємне замикання двох входів, потрібно використовувати механічне блокування.

#### **2.4 Основні принципи побудови систем безперебійного електропостачання лікувального закладу**

Система загального електропостачання (СЗЕ) є комплексом елементів, що включає електrolінії, апаратуру і механізми, які знаходяться на шляху електричного кола від введення живильних ліній об'єкта до вступних комутаційних апаратів СБЕ і СГЕ. Ці елементи забезпечують надійне електропостачання об'єкта та дозволяють контролювати та захищати електричну мережу. Але цих елементів недостатньо, щоб сформувати повне уявлення про систему енергопостачання. Один із ключових компонентів СЗЕ - це трансформаторна підстанція (ТП). Головне завдання СЗЕ - це приймати та

розподіляти електроенергію від зовнішнього джерела. Сам шлях цієї енергії у разі не грає ролі. Як зовнішній використовують низьку підстанцію з напругою на високій стороні 10 кВ і на низькій стороні 0,4 кВ або шину з аналогічною напругою на високій стороні. Якщо ж на генераторі є напруга, його використовують без будь-яких трансформацій.

Система енергопостачання характеризується насамперед надійністю, величина якої визначається кількістю незалежних джерел, що взаємно резервують. Існують різні категорії надійності для системи електропостачання, які впливають на час перемикання на резервне джерело живлення. Наприклад, у першій категорії надійності час перемикання залежить від автоматичного вимкнення при відхиленні напруги від заданих значень, а у другій категорії надійності час перемикання залежить від оперативних дій людини. Щоб уникнути потенційної відмови системи та підтримати належний рівень якості електроенергії, краще мати свій власний генератор живлення.

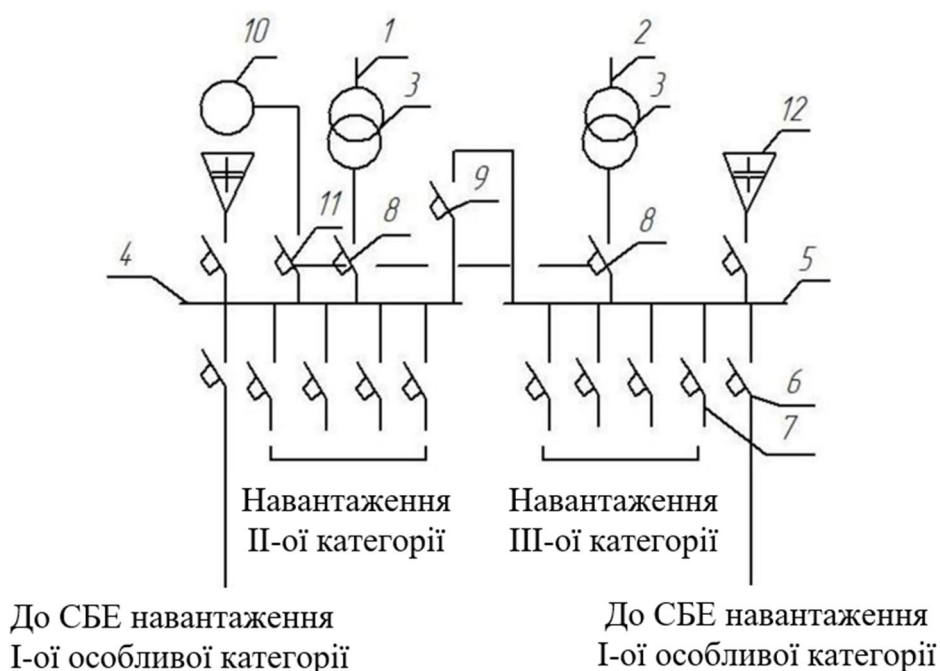


Рисунок 2.8 – Система електропостачання лікувального закладу

На рис. 2.8 зображено СЗЕ лікувального закладу з резервною дизельною електростанцією (РДЕС). Щоб заживити фідери I та II категорії надійності, використовують два незалежні вводи 1, 2 і РДЕС 10 з пристроєм АВР; для

споживачів III категорії застосовують два незалежні вводи з АВР. Секції 4 і 5 забезпечують електроенергією від високовольтних кабелів 1 і 2 через відповідні трансформатори 3.

Головний розподільчий щит автоматично включає резерв на вимикачах 8, 9, 11 та споживачів від РДЕС 10. Кожен із вимикачів містить спеціальний «розумний» модуль - мікропроцесор, який дає можливість дистанційного керування та фіксує електротехнічні параметри. Інтелектуальний модуль з'єднаний із системою автоматизації управління ГРЩ, що дозволяє відмовитися від застосування спеціально виділеного щита гарантованого електропостачання. Система ГРЩ дає можливість контролювати і регулювати навантаження, стежити за станом автоматики, сигналізувати про положення вимикача і вимірювати струм навантаження на лініях 7. Крім того, система блокує одночасне включення енергоємних споживачів при роботі РДЕС і виключає раптове включення фідерів інших категорій (не I і II). ГРЩ значно «розвантажує» систему електропостачання та дозволяє вручну запустити автомати. Система ГРЩ має АВР на ввідних (8) і секційних (9) вимикачах. Автоматичне ввімкнення резерву дизель-генератора (11) реалізовано на автоматичних вимикачах з приводами дистанційного керування. Автоматичні елементи системи забезпечення електропостачання управляються промисловими контролерами, які управляють схемами автоматичного вимкнення резервного джерела живлення та відходящих ліній генератора.

Секційний вимикач АВР працює таким чином, що у нормальному режимі він і вимикач вводу РДЕС відключені, а вимикачі вводу 0,4 кВ включені. Якщо напруга на вході стає нульовою або відхиляється від допустимих значень, спрацьовує захист мінімальної напруги, внаслідок чого відповідний ввід вимикається, а секційний вимикач вмикається. При відновленні напруги на входах система повертається до нормального режиму роботи.

Що ж відбувається в АВР ДГУ в момент нульового або відхилення напруги від норми? Насамперед запускається коло РДЕС, у ньому з'являється напруга (на вводі та в колах керування). Далі увімкнена система автоматичного



розвантаження відключить фідери III категорії (частина ліній 7). А коли запускатиметься ДГУ, то й споживачів II категорії система відключить. Далі, другий важливий етап - це відключення вводів 8 і конденсаторних батарей 12. Потім йде низка включень: секційного вимикача 9 вводів РДЕС 11 вимикачів 6 в колах ліній 7 навантажень II категорії. Ця функція дозволяє обмежити частоту увімкнення енергоємних споживачів, що потребують великої потужності, із затримкою між включеннями щонайменше 15 секунд. Після перевірки навантаження на дизельному генераторі оператор вирішує, яке навантаження підключити до РДЕС. Якщо на якомусь із вводів 8 є напруга, сигналізується про запуск дизельного генератора, вводу РДЕС 11 відключається, і відповідний ввід 8 включається. Це призводить до автоматичного підключення споживачів, які були відключені в режимі розвантаження, та підключення конденсаторних батарей.

У контролерах, що використовуються у пристроях АВР секційного вимикача, є багато функцій, але для їх правильної роботи необхідно дотримуватися деяких умов. Якщо ці умови не будуть виконані, система електропостачання не зможе працювати коректно.

Перша умова для роботи АВР – на всіх вводах ГРЩ має бути напруга. Друга умова – АВР повинен спрацювати лише один раз, і не повинен повторювати свої дії у разі аварійного відключення вимикачів вводу або секційного вимикача. «Також АВР заборонено включати багаторазово за будь-якої несправності в системі. Третя умова – роботу АВР буде заблоковано відразу після відключення автоматичних вимикачів у колах контролю напруги. Четверта умова - важливо дотримуватися заданого тимчасового режиму: півхвилини на відключення вимикачів 8 вводів ГРЩ при нульовій напрузі та хвилину на включення вимикачів 8 вводів ГРЩ при появі напруги». І останнє, з важливості, умова – справна робота сигналізації ручного режиму АВР і спрацьовування АВР.

З'являється шанс реалізації гарантованого електропостачання споживачів, що знаходяться на будь-якій лінії 7 завдяки автоматичним вимикачам, які контролюються згідно з встановленим алгоритму.

У великому приміщенні потреба модифікації вимог до групи надійності електропостачання електроприймачів досить можлива, а також у класичному процесі електропостачання потребує перебудови існуючої системи.

## **2.5 Висновки до розділу 2**

В даному розділі розглянуто основні принципи побудови систем безперебійного електропостачання лікувального закладу .

Здійснено розробку узагальненої схеми електропостачання лікувального закладу, а саме:

- система безперебійного електропостачання;
- система гарантованого електропостачання

Сформульовано ряд важливих умов для використання системи гарантованого електропостачання.

### 3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Аналіз існуючої структури електрогосподарства об'єкта описом схеми зовнішнього електропостачання

У генеральний план лікувального закладу входить:

- головний корпус (безпосередньо приміщення);
- корпус гінекології та акушерської справи;
- їдальня;
- будівля електропостачання (котельня);
- зубна поліклініка.

Даний список не повний, тут представлені основні корпуси із великим споживанням електричної енергії.

Клас напруги лікарні складається з високої та низької напруги.

ВН – напруга 10 кВ ;

НН – напруга 0,4 кВ .

Висока напруга

Для забезпечення потрібної категорії надійності електропостачання необхідно перенести навантаження з лінії високої напруги «ЦРЛ-12» на лінію високої напруги «ЦРЛ-2».

Під час реконструкції лікарні було вирішено перенести навантаження з фідера 10 кВ "ЦРЛ-12" на "ЦРЛ-2". Для забезпечення надійності електропостачання на об'єкті використовувався фідер 10 кВ під назвою "ЦРЛ-2" із трансформаторної підстанції 110/10 кВ. Для забезпечення категорійності електропостачання на фідері було встановлено відгалужувальну опору з роз'єднувачем. Для резервного електропостачання використовувалася відгалуження від іншого фідера 10 кВ, званого "ЦРЛ-1". Крім того, було виконано видалення опор №130/1-130/8 із зони житлової забудови. Ці заходи було вжито задля забезпечення категорійної надійності електропостачання підстанції. В рамках проекту також було встановлено комплектну

двотрансформаторну підстанцію міського типу *2КТПГ* – 400/10/0,4 з двома масляними трансформаторами типу *ТМГ* 400/10/0,4.

У лікарні використовуються такі елементи електропостачання:

- дизель-генераторна установка потужністю 100 *кВт* та напругою 380 *В*,
- повітряні лінії та кабельні лінії, електроприймачі 0,4 *кВ*, які розташовані у корпусах лікарні.

Дизель-генераторна установка – це ще одне джерело живлення, яке працює окремо від основної електромережі, та призначене для забезпечення надійного живлення електроприймачів особливої категорії, таких як акушерський корпус, основний корпус (блоки А, Б) та котельня. Крім того, у лікарні використовується фідер комплектної трансформаторної підстанції лікувального закладу для живлення шафи власних потреб ДГУ та шафи автоматики ДГУ. У блочному контейнері встановлені дизель-генераторна установка, додатковий паливний бак на 1000 літрів та інші системи, що забезпечують життєзабезпечення. У головному корпусі розташовані електроприймачі 0,4 *кВ*, розбиті за категоріями надійності згідно з табл. 3.1 та 3.2.

Таблиця 3.1 – Електроприймачі корпусів А та Б розподілені за категоріями надійності електропостачання

Електроприймачі	Категорія надійності
Пристрої та апарати, що знаходяться у кімнатах терапії, а також операційних (хірургічних) відділеннях та кімнатах чергового персоналу	I (особлива)
Пристрої та апарати, що здійснюють у корпусах аварійне освітлення, навантаження та вивантаження пасажирських вантажів (ліфт), пожежна сигналізація,	I
Всі електроприймачі, що залишилися в лікувальному закладі	II

Таблиця 3.2 – Електроприймачі корпус В розподілені за категоріями надійності електропостачання

Електроприймачі	Категорія надійності
Пристрої та апарати, що здійснюють аварійне освітлення, вентиляція корпусу та підтримка повітрообміну в ЛМУ, пожежна сигналізація; Різне електрообладнання серверної кімнати.	I (особлива)
Всі електроприймачі, що залишилися в лікувальному закладі	I

### 3.2 Розрахунок електричних навантажень на корпуси лікувального закладу

#### 3.2.1 Повний розрахунок освітлення та обладнання корпусів лікувально-медичної установи

Для виявлення навантажень на електричну систему будівель, як житлових, і цивільних, використовується спеціальний метод, званий «метод упорядкованих діаграм», описаний у джерелі [11]. Розрахунок проводиться для головного корпусу будівлі з детальним описом кожної групи електроприладів, а інші корпуси розраховуються за аналогією. Електроприлади розбиваються на дві групи: Переносна медична апаратура – це така техніка та обладнання, які можуть бути переміщені з одного місця до іншого для проведення медичних процедур. Стаціонарна медична апаратура, навпаки, призначена для використання на постійній основі у певному місці. Кожна група містить певні прилади із зазначенням їхньої потужності.

Метод упорядкованих діаграм використовується для розрахунку електричних навантажень житлових та цивільних будівель. Цей метод дозволяє розбити всі електроприймачі на групи та розрахувати навантаження для кожної групи окремо. В основному будівлі всі прилади, які споживають електроенергію, розділені на кілька категорій:

Це перелік різного медичного обладнання, що включає як портативні прилади (наприклад, електрокип'ятильники, електропилесоси, розетки та баки для обробки рентгенограм), так і стаціонарне обладнання, наприклад, фізіотерапевтичні кабінні щитки, рентгенапарати, стерилізатори, компресори та інше обладнання, що використовується в лікарні установах.

Здійснимо повний розрахунок електричних навантажень для лікувального закладу.

Активне навантаження:

$$P_P = P_3 \cdot K_{II} = P_H \cdot K_M \cdot K_B$$

де  $P_3$  – активна потужність електроприймачів за зміну;

$K_{II}$  – груповий коефіцієнт попиту;

$P_H$  – встановлена активна потужність електроприймачів;

$K_M$  – коефіцієнт максимуму ЕП;

$K_B$  – коефіцієнт використання ЕП.

Реактивне навантаження:

Кількість ефективних електроприймачів дорівнює  $n_e \leq 10$

$$Q_P = 1,1 \cdot Q_C = 1,1 \cdot P_H \cdot K_C \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Кількість ефективних електроприймачів дорівнює  $n_e \geq 10$

$$Q_P = Q_C = P_H \cdot K_C \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

де  $Q_C$  – реактивна потужність електроприймачів за зміну;

$\operatorname{tg} \varphi$  – відповідає груповому коефіцієнту потужності;

Повне навантаження:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2}$$

де  $P_P$  активне навантаження лікувального закладу;

$Q_P$  реактивне навантаження лікувального закладу.

Так як рентгенапарат споживає  $1 \text{ кВт}$  в очікуванні та  $5,8 \text{ кВт}$  у режимі просвічування, то для розрахунку його електричного навантаження ми беремо до уваги режим просвічування.

Для розрахунку загального навантаження різного силового обладнання використовується формула:

$$P_{pc} = 0,95 \cdot (P_{pc1} + P_{pc2} + \dots + P_{pcn})$$

де 0,95 - коефіцієнт, що враховує розбіжність розрахункових максимумів характерних груп силових електроприймачів;

$P_{pc1}, P_{pc2}, \dots, P_{pcn}$  – розрахункові електричні навантаження характерних груп силових електроприймачів.

Проведемо повний розрахунок для спільного електроживлення силового обладнання та освітлювального:

$$P_P = K_{12} \cdot (P_{po} + P_{pc}),$$

де  $K_{12}$  – це коефіцієнт, що показує, наскільки розрахунковий максимум силового обладнання відрізняється від розрахункового максимуму освітлювального обладнання [11].

Розрахунок електричних навантажень – це важливий етап проектування електричних систем, що дозволяє визначити необхідну потужність та вибрати обладнання для забезпечення електропостачання об'єкта. При розрахунку враховуються кількість, характеристики та режим роботи електроприладів, що споживаються. Точність розрахунку навантажень – ключовий фактор для забезпечення безпеки та надійності роботи електросистеми.

Після завершення повного розрахунку електричних навантажень у лікувальному закладі ми отримуємо результати, які оформляємо в таблиці. У таблиці 3.3 відображено результати загального розрахунку навантажень для лікарні. Для отримання більш детальної інформації про навантаження проводяться розрахунки для окремих блоків лікарні. Наприклад, докладний розрахунок навантажень по поліклініці (блок В) та основному корпусу (блоки А, Б) представлені в таблицях А.1 та Б.1 відповідно (додаток А, Б).

Таблиця 3.3 –Повний розрахунок електричних навантажень у лікувальному закладі (корпуси А, Б та В)

Назва ЕП (або груп ЕП)	Номинальна потужність ЕП, $P_{НОМ}$ , кВт	Загальна кількість усіх ЕП, шт.	$\operatorname{tg}\varphi$	$\cos\varphi$	$K_C$	Потужність (активна, реактивна, повна)		
						$S_P$ , кВА	$P_P$ , кВт	$Q_P$ , кВАр
Корпус (В)	68.627	498	0.43	0.92	0.52	38.47	35.39	15.07
Корпус (А таБ)	413.5	1497	0.71	0.88	0.44	185.39	156.5	101.3
РАЗОМ по корпусах (А, Б, В)	482.127	1995	0.61	0.89	0.48	223.86	191.89	116.37
Пологове відділення	356.7	599	0.64	0.79	0.55	225.63	185.7	129.7
Котельня	34	3	0.8	0.9	1	87.5	76.59	38.14
Комірка ДГУ (власні потреби установки)	3		0.78	0.81	0.65	2.8	2.5	1.4
Освітлювальні установки (зовнішні)	11	59	0.74	0.86	1	11.35	9.12	5.78
Діючі електричні навантаження	356.7	-	0.65	0.75	0.7	244.9	199.2	155.7
Разом	1243.5	2656	0.65	0.84	0.52	709.8	617.2	401.7

### 3.2.2 Повний розрахунок штучного освітлення

У головному корпусі використовуються різні типи світильників для освітлення різних приміщень. Для освітлення основних приміщень використовуються електроприймачі з компенсацією реактивної потужності (люмінесцентна лампа з пускорегулюючою апаратурою). У вбиральнях встановлені звичайні люмінесцентні лампи. Не основні приміщення лікувального закладу постачаються найпростішими лампами (лампа розжарювання). Також встановлені індикатори при надзвичайних ситуаціях, таблиці «Вихід» та стрілки, що вказують напрямок руху, дані таблиці підсвічуються спеціальними лампами, що входять в електропостачання аварійного освітлення. Розрахунок штучного освітлення здійснюється методом коефіцієнта використання, з використанням нормативних показників освітленості для лікувальних закладів . [12] При розрахунку освітлення приміщень 1 поверху поліклініки (блок В) використовувалися таблиці з



нормами та рекомендаціями для штучного освітлення приміщень охорони здоров'я [12].

Реєстратура.

Розраховуємо кількість світильників на одне приміщення і далі вибираємо необхідну нам світлову апаратуру:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{n \cdot \eta \cdot \Phi_L}$$

де  $N$  – кількості світильників;

$E$  – потрібна горизонтальна освітленість,  $E = 150$  Лк на стелажах;

$B$  – 1 м від підлоги;

$S$  – площа приміщення,  $m^2$ ;

$K_3$  – Коефіцієнт запасу (табл. 3.4);

$n$  – кількість ламп в одному світильнику;

$\eta$  – коефіцієнт використання;

$\Phi_L$  – світловий потік однієї лампи, Лм .

Для встановлення приймемо світильники марки *Basic* виробника "OSRAM".

Таблиця 3.4 – Індекс  $K_3$  щодо різних приміщень

$K_3$	Найменування
2	Сильне забруднення
1.8	Середнє забруднення
1.5	Слабке забруднення
1.3	Слабке забруднення та малий час використання установок

Для нашого випадку підходить  $K_3 = 1,5$

$$i = \frac{S}{(H - h_p) \cdot (A + B)}$$

де  $H$  – висота приміщення,  $H = 2,8$  м;

$h_p$  – висота розрахункової поверхні  $h_p = 1,0$  м;

$A$  – Довжина,  $A = 4,41$  м;

$B$  – ширина,  $B = 6,021$  м.

$$i = \frac{4.41 \cdot 6.02}{(2.8 - 1) \cdot (4.41 + 6.021)} = 1.41 \approx 1.5$$

Таблиця 3.5 – Індекс  $K_3$  щодо різного кольору матеріалів

$K_{відб}$ , %	Колір
10	Абсолютно темна поверхня
20	Темно-сірий відтінок
30	Сірий відтінок
50	Світлий колір
75-85	Білий відтінок

Таблиця 3.6 – Коефіцієнт використання

<i>ALS OPL 236</i>								
стеля	80	80	80	70	50	50	30	0
стіни	80	50	30	50	50	30	30	0
підлога	30	30	10	20	10	10	10	0
0,6	33	19	14	18	18	14	14	10
0,8	39	24	19	23	22	18	18	14
1	43	28	22	27	25	21	21	17
1,25	48	33	27	31	29	25	24	20
1,5	51	37	30	35	32	28	27	22
2	55	42	34	39	35	32	31	26
2,5	58	46	38	42	38	35	33	28
3	60	49	40	45	40	38	36	31
4	62	53	44	48	43	40	38	33
5	64	56	46	50	44	42	40	34

Для нашого випадку підходить з таблиці 3.5:

$$\rho_{стелі} = 70;$$

$$\rho_{стіни} = 50;$$

$$\rho_{підлоги} = 30.$$

Для нашого випадку підходить з таблиці 3.6:

$$\eta = 0,35.$$

$$N = \frac{150 \cdot 26,55 \cdot 1,5}{0,35 \cdot 1 \cdot 2850} = 5,9 \approx 6$$

Розрахунок потужності освітлення.

$$P_{осв} = N \cdot n \cdot P_{одн.л.} = 6 \cdot 1 \cdot 0,036 = 216 \text{ Вт}$$

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 0,216 \cdot 0,29 = 0,063 \text{ кВАр}$$

де  $\operatorname{tg} \varphi = 0,29$ , так як  $\cos \varphi = 0,96$ .

$$S_{осв} = \sqrt{P_{осв}^2 + Q_{осв}^2} = \sqrt{0,216^2 + 0,063^2} = 0,255 \text{ кВА.}$$

### 3.3 Встановлення силових трансформаторів з компенсацією реактивної потужності

При розробці рішення було вирішено встановити силові трансформатори типу ТМГ, які відрізняються від силових трансформаторів з розширювальними баками тим, що не вимагають обслуговування протягом усього терміну експлуатації, лабораторних досліджень трансформаторної олії, взяття проб на аналіз, а також регенерації олії та ревізій під час експлуатації. Для збільшення поверхні охолодження силових трансформаторах герметичного виконання використовуються гофровані стінки. Старе обладнання демонтується, оскільки воно вже відпрацювало свій ресурс, а також не може забезпечити необхідну категорійність електропостачання у зв'язку з електричними навантаженнями, що збільшилися.

Вихідні дані:

$$P_{p\Sigma} = 618 \text{ кВт}; Q_{p\Sigma} = 402 \text{ кВт}; P_{p\Sigma} = 709 \text{ кВА.}$$

Для розгляду візьмемо силовий трансформатор марки ТМГ, з паспортною потужністю, що дорівнює 400 кВА.

Розрахуємо необхідну кількість силових трансформаторів для безперебійного електропостачання лікувального закладу.

$$N_T = \frac{P_{p\Sigma}}{\kappa_3 \cdot S_{насн}} = \frac{618}{0,7 \cdot 400} = 1,99 \approx 2$$

де  $\kappa_3$  – коефіцієнт завантаження силового трансформатора.

Встановлюємо два трансформатори потужністю 400 кВА. Вихідні паспортні параметри трансформатора ТМГ – 400:

$$P_{xx} = 0,83; P_{кз} = 0,5; \kappa_3 = 0,7; S_{ном} = 400; i_0 = 1,8; U_{кз} = 4,5.$$

Зробимо повний розрахунок електричних втрат у силовому трансформаторі (активні та реактивні втрати):

$$\Delta P_T = N_T \cdot (P_{xx} + \kappa_3^2 \cdot P_{кз}) = 2 \cdot (0,83 \cdot 0,7^2 \cdot 5,5) = 7,05 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = N_T \cdot (i_0 + \kappa_3^2 \cdot U_{кз}) \cdot \frac{S_n}{100} = 2 \cdot (1,8 + 0,7^2 \cdot 4,5) \frac{400}{100} = 32,04 \text{ кВАр}.$$

Зробимо повний розрахунок електричних навантажень для лікувального закладу, враховуючи активні та реактивні втрати у силовому трансформаторі:

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T = 618 + 7,05 = 625,05 \text{ кВт};$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T = 402 + 32,04 = 434,04 \text{ кВАр}$$

Далі збудуємо графік електричних навантажень (річне споживання) для даного лікувального закладу (рис. 3.1).

Річний графік електричних навантажень є графіком, який показує зміну енергоспоживання протягом року. Цей графік важливий для планування роботи електросистеми та вибору обладнання, оскільки він відображає сезонність та піки споживання енергії. Крім того, річний графік є важливим інструментом для прогнозування та планування енергоспоживання, а також для розрахунку економічної ефективності та визначення потреби в енергозберігаючих заходах. Необхідно враховувати, що річний графік може відрізнятися залежно від типу об'єкта та його особливостей.

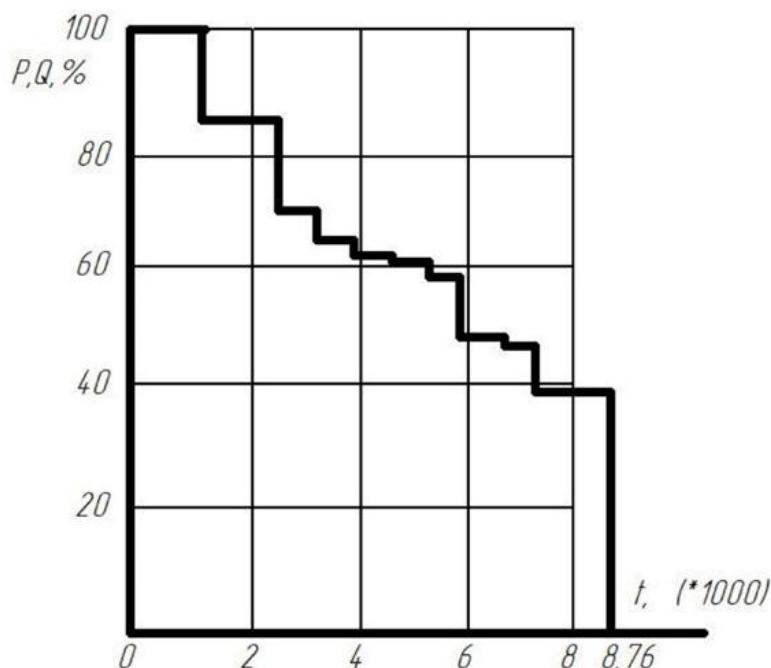


Рисунок 3.1 – Графік електричних навантажень (річне споживання) даного лікувального закладу.

Далі буде представлено методику розрахунку компенсації реактивної потужності для покращення електропостачання даного закладу.

Розрахунок реактивної потужності у години максимуму:

$$Q'_{el} = Q_p - 0,9 \cdot Q_{CD} = 386,22 \text{ кВАр};$$

$$Q''_{el} = \alpha - P_p = 0,28 \cdot 553,05 = 154,854 \text{ кВАр};$$

де  $Q_p$  – розрахункова реактивна потужність;

$Q_{CD}$  – Розрахункова потужність синхронних двигунів.

Так як у період максимальних навантажень, напруга в нашій енергосистемі є зниженою, ми змушені вибрати  $Q''_{el}$ .

– Розрахунок реактивної потужності у години мінімуму:

$$Q''_{e2} = Q_{\min} + Q_K = 159,5 \text{ кВАр};$$

$$Q''_{e0} = Q_{\min} - Q_{KD} = Q_{\min} - (Q_p - Q_{el}) = 159,35 - (386,22 - 154,854) = -72,016 \text{ кВАр};$$

де  $Q_{\min}$  – реактивна потужність у період мінімальних навантажень;

$Q_K$  – реактивна потужність конденсаторної установки;

Так як у період мінімальних навантажень, напруга в нашій енергосистемі є підвищеною, ми змушені вибрати  $Q_{e2}''$ .

$$Q_{e2}'' = 159,35 \text{ кВАр}.$$

Розраховуємо максимальну та мінімальну реактивну потужність встановлених компенсуючих пристроїв:

$$Q_{\text{ку.маx}} = 1,1 \cdot Q_p - Q_{e1} = 1,1 \cdot 386,22 - 154,854 = 270 \text{ кВАр};$$

$$Q_{\text{ку.миn}} = Q_{\text{миn}} - Q_{e2} = 159,35 - 159,35 = 0 \text{ кВАр};$$

Далі розраховуємо значення реактивної потужності, яка має бути доставлена з ВН до НН (без компенсації реактивної потужності):

$$Q_{\text{ен}} = Q_{e1} - (Q_p - Q_{p\Sigma}) = 154,854 - (386,22 - 354,18) = 122,814 \text{ кВАр};$$

Зробимо розрахунок значення реактивної потужності, яка дійсно буде доставлена з ВН до НН:

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot \kappa_z \cdot S_{н.м})^2 - P_{p\Sigma}^2} = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 400)^2 - 546^2} = 124,43 \text{ кВАр}.$$

Розраховуємо потужність компенсаторної установки на стороні НН:

$$Q_{\text{ку.НН}} = Q_{p\Sigma} - Q_T = 354,18 - 124,43 = 229,75 \text{ кВАр}.$$

Розраховуємо потужність компенсаторної установки на боці ВН:

$$Q_{\text{ку.ВН}} = Q_{\text{ку.маx}} - Q_{\text{ку.НН}} = 270 - 229,75 = 40,26 \text{ кВАр}.$$

З боку НН вигідно встановити БК, за ВН БК встановлювати недоцільно. Приймаючи припущення про рівномірний розподіл реактивної потужності, вибираємо та встановлюємо наступні КУ: Установка для компенсації марки «КРМ – УЗ» (2 штуки) з номінальною напругою 0,4 кВ та номінальною повною потужністю  $S = 205 \text{ кВА}$ .

Розрахунок витрат на компенсуючий пристрій на стороні низької напруги

$$B_{\text{ку.н}} = E \cdot K_{\text{ку}} \cdot \left( \frac{U}{U_{\text{ку}}} \right) + C \cdot P_{\text{ку}} \cdot Q + E_p \cdot K_p \cdot n,$$

де  $E$  – приведені значення капіталовкладень, приймаємо 0,223;

$K_{\text{ку}}$  – ціна за одну компенсуючу установку;

$U$  – напруга у вузлі підключення блоку конденсаторів;

$U_{ку}$  – напруга компенсуючого пристрою;

$C$  – ціна питомих втрат активної потужності, грн/кВт;

$P_{ку}$  – активні втрати в компенсуючому пристрої, кВт;

$K_p$  – ціна пристрою регулювання БК;

$n$  – кількість установок.

$$B_{ку.н} = 0,223 \cdot 49700 \cdot \left(\frac{1}{1}\right) + 8992 \cdot 0,002 \cdot 210 + 0,27 \cdot 4700 \cdot 2 = 17368 \text{ грн.}$$

$$K_{ку} = K_y \cdot Q$$

$$C \cdot \Delta P_T = C_0 \cdot \Delta P_{xx} + C_m \cdot \kappa_3^2 \cdot \Delta P_{кз} = 3485,5 \cdot 0,83 + 22450 \cdot 0,7^2 \cdot 5,5 = 63395 \text{ грн}$$

$$C = \frac{63395}{7,05} = 8990 \text{ грн/кВт}$$

де  $C \cdot \Delta P_T$  – величина, що показує, збитки від втрат, які виникають у комплектно-трансформаторних підстанціях у силових трансформаторів, грн;

$C_0$  – величина, яка показує вартість  $P_{xx}$  силового трансформатора грн/кВт;

$$C_0 = \frac{C_\Gamma}{W_n} \cdot \tau \frac{1694055,2}{661000} \cdot 1,36 \cdot 10^3 = 3485,5 \text{ грн/кВт}$$

де  $\tau$  – діапазон часу максимальних втрат, год,

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_m}{10000}\right)^2 \cdot T_p = 1,36 \cdot 10^3 \text{ год.}$$

де  $T_m$  – період використання максимального значення навантаження за рік = 2700 год;

$T_p$  – період роботи силового трансформатора за рік = 8760 год;

$C_m$  – величина, яка показує, збитки від активних втрат (навантаження), грн / кВт · год;

$$C_m = \frac{C_\Gamma}{W_p} \cdot T_p \frac{1694055,2}{661000} \cdot 8760 = 22450,7 \text{ грн/кВт}$$

де  $C_T$  – ціна електроенергії за 365 днів з урахуванням податку на додаткову вартість, руб;

$W_p$  – електроенергія, що поставляється,  $kVt \cdot год$ .

Розрахунок витрат на комплектну трансформаторну підстанцію:

$$B_{KTP} = E \cdot K_{TP} + C \cdot \Delta P_T \cdot N = 0,233 \cdot 1022,452 + 63,395 \cdot 2 = 354,8 \text{ тис. грн}$$

де  $K_{TP}$  – вартість комплектної трансформаторної підстанції, тис. грн.

Повний розрахунок витрат на комплектну трансформаторну підстанції та компенсуючі пристрої:

$$B_{заг} = B_{ку.н} + B_{KTP} = 17,368 + 354,8 = 372,168 \text{ тис.грн}$$

Розрахунки зведені в таблицю Г.1, яка представлена у додатку Г. За підсумками аналізу витрат було обрано варіант із двома силовими трансформаторами типу *ТМГ 400/10/0,4 кВ*.

### 3.4 Встановлення джерел безперебійного живлення (ДБЖ)

При виборі та розрахунку потужності ДБЖ враховуються кілька параметрів, які задаються та використовуються у розрахунках. Це потужність навантаження, характер навантаження, час автономної роботи ДБЖ та вимоги до надійності. Для порівняння різних класів ДБЖ наводиться коротка інформація (табл. 3.8).

Таблиця 3.8 – Характеристики ДБЖ (*Off* – 1, *On* – 2, *Interactive* – *Line* – 3)

Характеристики	1	2	3
Повна потужність, <i>кВА</i>	< 2	< 5	Відсутні межі обмежень
Стійкість до перешкод	<i>weak</i>	<i>medium</i>	<i>Maximim</i>
Стабілізатор $U$ та $f$	Відсутнє	Відсутнє	Можливий
Діапазон роботи від акумуляторів	5 хв.	90 хв.	120-300 хв.
Форма сигналу ДБЖ	Трапецеїдальна	Синусоїдальна	Синусоїдальна



При виборі джерел безперебійного живлення, які повинні працювати в режимі онлайн (*on-line* – тобто постійно жити навантаження без перемикачів), можна звернутися до огляду моделей ДБЖ з таким режимом роботи [13]. Результати представлено в табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Характеристики ДБЖ з режимом роботи *on-line*

Тип ДБЖ	ДБЖ з перемикачам	ДБЖ, Взаємодія з мережею	ДБЖ ферорезонансний	ДБЖ з 2-ою трансформацією енергії	
				1ф	3ф
Розрив $U$ при перемикачній з мережного живлення на акумулятор	+	+	+++++	+++++	+++++
Захист від ДН	++	++	++++	+++++	+++++
Захист від перепадів $U$	-	+	++++	++++	++++
Тривала робота	-	++	+++	+++	++++
Захист від ЕМ та ВВ шумів	+	+	++++		
Можливість паралельної роботи	-	-	-	-	++++
Якість електропостачання у хороших умовах	++++	+++	+++++	++++	++++
Якість електропостачання у поганих умовах	++	+	+++++	++	+++
Захист електроустаткування в хороших умовах	++	+++	++++	+++++	+++++
Захист електроустаткування в поганих умовах	+	+	++++	++	+++

З таблиці 3.9 можна побачити, що найбільш підходять для використання в СБЕ лікувального закладу є ДБЖ з подвійним перетворенням електроенергії. При підключенні кількох ДБЖ в паралель, необхідно враховувати, що в разі відмови одного з них, ДБЖ, що залишилися, повинні бути достатньо потужними, щоб забезпечити роботу всього навантаження. Для цього використовується значення  $N+1$  де  $N$  – кількість ДБЖ, які можуть

забезпечувати роботу у разі відмови одного. Однак, якщо ДБЖ працюють на 100% навантаження, система не зможе забезпечити перевантажувальну здатність і можуть з'явитися спотворення на вході ДБЖ при зменшенні навантаження, що може негативно вплинути на їх ефективність. Тому кожен ДБЖ має бути завантажений лише на 75% задля забезпечення раціональної роботи. Коефіцієнт  $K_i$  який визначає максимальну частку навантаження, яку можна підключити до ДБЖ дорівнює 0,75 і не може бути більшим за це значення.

Співвіднесемо паспортну потужність джерела безперебійного живлення та розрахункову потужність:

$$S_{\text{ДБЖ}} = \frac{S_p}{K_{\text{вик}}}$$

де  $S_{\text{ДБЖ}}$  – паспортна повна потужність джерела безперебійного живлення, кВА;

$S_p$  – повна розрахункова потужність, кВА;

$K_{\text{вик}}$  – приведені значення використання джерела безперебійного живлення.

Повний розрахунок навантажень СБЕ наведено у таблиці Г.1 (додаток Г).

### 3.5 Вибір типу та розрахунок потужності дизельної електростанції (ДЕС)

Потужність дизельної електростанції, що працює в системі «ДЕС ДБЖ», визначається за формулою:

$$S_{\text{ДЕС}} = S_I + S_{II} = 22 + 68,4 = 90,4 \text{ кВА},$$

де  $S_{\text{ДЕС}}$  – потужність ДЕС з турбонадувом, при плавному переведенні потужності з ДБЖ на ДЕС, кВА;

$S_I$  – потужність споживачів першої категорії, кВА;

$S_{II}$  – потужність споживачів другої категорії, кВА.

Потужність споживачів I категорії  $S_I$  розраховується з урахуванням ККД ДБЖ, від якого заживлено цих споживачів:

$$S_I = \sum_{i=1}^n \frac{S_{\Sigma n}}{\eta_n} = \frac{8,8}{0,9} + \frac{6,6}{0,9} + \frac{4,4}{0,9} = 22 \text{ кВА}$$

де  $S_{\Sigma n}$  – сумарна розрахункова потужність споживачів I категорії, запитаних від ДБЖ, кВА;

$\eta_n$  – ККД відповідних ДБЖ.

Вибираємо ДГУ *FG Wilson P110-2* потужністю 100 кВА.

Результати розрахунку зведені до таблиці Д.1 (Додаток Д).

### 3.6 Повний розрахунок струмів КЗ

#### 3.6.1 Повний розрахунок струмів КЗ на стороні вище 1кВ

Під час проектування системи електропостачання необхідно проводити розрахунок струмів короткого замикання (КЗ). Це дозволяє вибрати відповідне обладнання, яке зможе витримати струми, що виникають в результаті КЗ, а також визначити необхідність застосування заземлювальних пристроїв і розрядників. Розрахунки проводяться за методикою, описаною в [14]. В даному випадку ми розглядаємо фідер «ЦРЛ -2», і розрахунок ведеться для найважчого випадку, коли струм КЗ трифазний і дорівнює 4244 А. Мінімальний трифазний струм короткого замикання для цього фідера складає 3700 А. Аналогічні розрахунки проводяться інших фідерів. Результати розрахунків зводяться до таблиці Е.1 (Додаток Е).

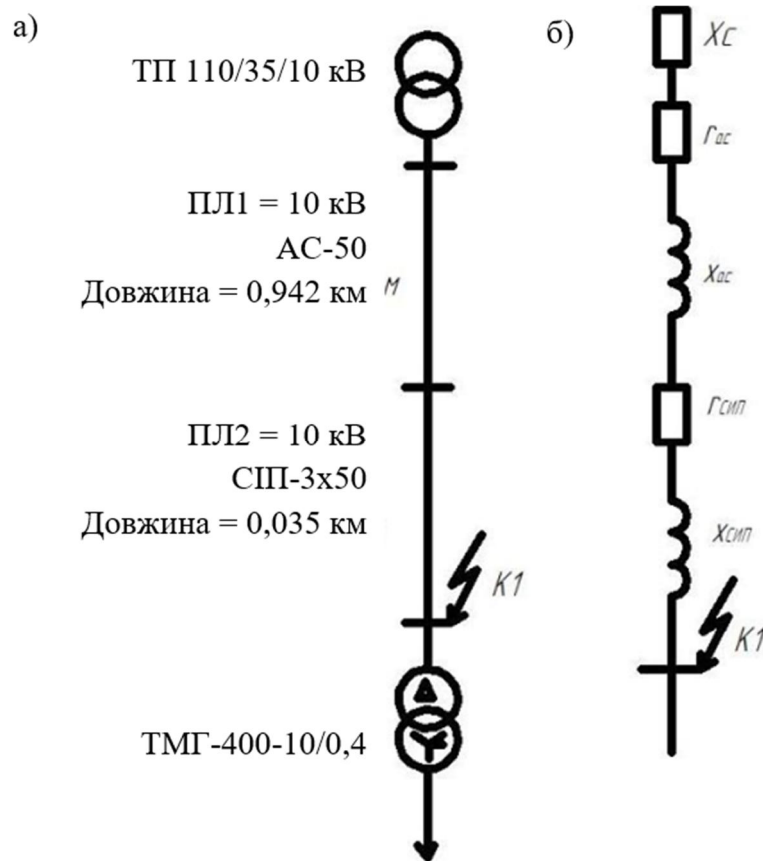


Рисунок – 3.2 Розрахункова схема та схема заміщення на стороні ВН.

Зробимо розрахунок параметрів схеми заміщення.

Параметри системи:

$$x_c = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot I_{\max \text{ к.з.}}^{(3)}} = \frac{10500}{\sqrt{3} \cdot 4244} = 1,428 \text{ Ом},$$

де  $U$  – напруга системи,  $\text{кВ}$ ;

$I_{\max \text{ к.з.}}^{(3)}$  – 3-х фазний струм КЗ на шинах підстанції низької напруги;

Параметри лінії:

$$r = r_0 \cdot l,$$

$$x = x_0 \cdot l,$$

де  $r_0$  – паспортне значення питомого активного опору лінії,  $\text{ом} / \text{км}$ ;

$x_0$  – паспортне значення питомого індуктивного опору лінії,  $\text{ом} / \text{км}$ ;

$l$  – довжина лінії,  $\text{км}$ .

$$r_{AC} = r_{0AC} \cdot l_{AC} = 0,65 \cdot 0,942 = 0,593 \text{ Ом},$$

$$x_{AC} = x_{0AC} \cdot l_{AC} = 0,392 \cdot 0,942 = 0,369 \text{ Ом},$$

$$r_{CIII} = r_{0CIII} \cdot l_{CIII} = 0,72 \cdot 0,035 = 0,025 \text{ Ом},$$

$$x_{CIII} = x_{0CIII} \cdot l_{CIII} = 0,299 \cdot 0,035 = 0,01 \text{ Ом}.$$

Далі зробимо розрахунок повного опору на місці КЗ (точка К1):

$$\begin{aligned} z_{e.k1} &= \sqrt{(r_{AC} + r_{CIII})^2 + (x_{AC} + x_{CIII} + x_C)^2} = \\ &= \sqrt{(0,593 + 0,025)^2 + (0,369 + 0,01 + 1,428)^2} = 1,91 \text{ Ом} \end{aligned}$$

Розрахуємо струм КЗ на стороні НН:

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot z_{e.k1}} = \frac{10500}{\sqrt{3} \cdot 1,91} = 3,174 \text{ кА}.$$

Далі розрахуємо ударний струм КЗ:

$$i_{y\delta}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot I_{\kappa}^{(3)} \cdot \kappa_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot 3,174 \cdot 1,45 = 6,5 \text{ кА}.$$

де  $\kappa_{y\delta}$  – ударний коефіцієнт, [14].

Далі розраховуємо трифазну повну потужність КЗ системи:

$$S_{\kappa}^{(3)} = \sqrt{3} \cdot I_{\kappa.K1}^{(3)} \cdot U_{BH} = \sqrt{3} \cdot 6,5 \cdot 10,5 = 57,7 \text{ МВА}$$

### 3.6.2 Повний розрахунок струмів КЗ на стороні НН

Перед тим, як приступати до розрахунку кабельних ліній, необхідно вибрати комутаційні апарати, вимірювальні трансформатори струму та лінії живлення, які використовуватимуться в системі. Це дозволить визначити струми короткого замикання, які проходять через систему, і відповідні їм номінальні струми, і напруги для вибору необхідних кабельних ліній та апаратів.

Основні лінії системи електропостачання.

Розрахунковий струм в лінії живлення в нормальному режимі  $I_p$  і в аварійному режимі  $I_{AB}$  :

$$I_p = \frac{S_{p.\kappa}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

$$I_{AB} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n},$$

де  $I_p$  – основний розрахунковий струм за нормального режиму роботи енергосистеми,  $A$ ;

$I_{AB}$  – основний розрахунковий струм при аварійному режимі роботи енергосистеми,  $A$ ;

$S_{p.k}$  – основна розрахункова потужність за нормального режиму роботи енергосистеми,  $kVA$ ;

$S_p$  – основна розрахункова потужність при аварійному режимі роботи енергосистеми,  $kVA$ .

Розрахунок сили струму для вводів №1 – №2 (внутрішній розподільний пристрій):

$$I_p = \frac{96,87}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 139,8 \text{ A},$$

$$I_{AB} = \frac{195,67}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 282,43 \text{ A},$$

$$I_p = \frac{98,8}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 142,6 \text{ A},$$

$$I_{AB} = \frac{195,67}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 282,43 \text{ A},$$

$$I'_{\text{доп}} \geq \frac{I_{AB}}{K_{AB} \cdot n_k \cdot K_{II} \cdot K_t},$$

де  $K_{AB}$  – величина навантаження в період максимуму електричного навантаження у період  $< 6$  годин на день у діапазоні п'яти днів, [14];

$K_{II}$  – величина розташування провідників (кабель);

$K_t$  – величина рівна температурі навколишнього середовища, у місці, де розташовується провідник (кабель).

$n_k$  – кількість паралельно прокладених провідників.

Розрахунок допустимого значення сили струму для вводів №1 – №2 (внутрішній розподільний пристрій):

$$I'_{\text{доп}} \geq \frac{282,43}{1,15 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 0,93} = 132 \text{ A},$$

Виходячи з розрахунків сили струму, вибираємо потрібний нам поперечний переріз провідника, який, у свою чергу, повинен задовольняти вимозі:

$$I'_{\text{дон}} \leq I_{\text{дон}},$$

де  $I_{\text{дон}}$  – максимально допустиме тривале значення сили струму [14].

Розраховуємо падіння напруги у провіднику (кабель):

$\Delta U$  для вводу №1 – №2 (внутрішній розподільчий пристрій):

$$\Delta U = \frac{10^5 \cdot P_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{n_k \cdot U_n^2 \cdot \cos \varphi}$$

$$\Delta U_{\text{№1}} = \frac{10^5 \cdot 84,66 \cdot 0,145 \cdot (0,326 \cdot 0,87 + 0,0602 \cdot 0,49)}{2 \cdot 400^2 \cdot 0,87} = 1\%$$

$$\Delta U_{\text{№2}} = \frac{10^5 \cdot 86,62 \cdot 0,15 \cdot (0,326 \cdot 0,87 + 0,0602 \cdot 0,49)}{2 \cdot 400^2 \cdot 0,87} = 1,46\%$$

За результатами розрахунку робимо вибір, що підходить провід марки *АВВГ – 1,0*.

Силові обладнання (роз'єднувач на стороні НН)

Умова вибору силового роз'єднувача, полягає у порівняння напруги мережі з номінальною напругою роз'єднувача та порівняння номінального струму мережі з номінальним струмом роз'єднувача:

$$U_{\text{ном}} = 0,4 \text{ кВ} \leq U_{\text{мер.ном}} = 0,4 \text{ кВ}$$

$$I_{\text{ном.довг}} \leq I_{\text{ном}}$$

$$I_{\text{ном}} = 1,4 \cdot \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 1,4 \cdot \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 808,3 \text{ А}$$

$$I_{\text{ном.довг}} = 808,3 \text{ А} \leq I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}.$$

За результатами розрахунку робимо вибір, що нам підходить силовий роз'єднувач марки "PE" з номінальним струмом 1000 А.

Вимірювальний ТС (трансформатор струму)

Умови вибору вимірювального ТС, полягає в порівнянні напруги мережі з номінальною напругою ТС та порівняння номінального струму мережі з номінальним первинним струмом:

$$U_{ном} = 0,4 \text{ кВ} \leq U_{мер.ном} = 0,4 \text{ кВ}$$

$$I_{ном} = 1,4 \cdot \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 1,4 \cdot \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 808,3 \text{ А}$$

$$I_{ном.довг} = 808,3 \text{ А} \leq I_{ном} = 1000 \text{ А}.$$

Струм у вторинній обвитці: 5 А.

Клас точності: 0,5А.

За результатами розрахунку робимо вибір, що нам підходить вимірювальний трансформатор струму марки *ТШН*. З класом точності 0,5 і вторинним струмом 5А.

Комутаційний апарат №1 та №2 (автоматичні вимикачі)

Умови вибірки комутаційного апарату (автоматичного вимикача), полягає у порівняння напруги мережі з номінальною напругою комутаційного апарату та порівняння номінального струму мережі з номінальним струмом комутаційного апарату.

$$U_{ном} = 0,4 \text{ кВ} \leq U_{мер.ном} = 0,4 \text{ кВ}$$

$$I_{ном} = 1,4 \cdot \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 1,4 \cdot \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 808,3 \text{ А}$$

$$I_{ном.довг} = 808,3 \text{ А} \leq I_{ном} = 1000 \text{ А}.$$

За результатами розрахунку робимо вибір, що нам підходить автоматичний вимикач марки «ВА» з номінальним струмом 1000 А та вимикач марки «ТД».

Далі розрахуємо струми КЗ за низької напруги. Розрахунок буде проводити для найважчого випадку, у нашому випадку це КЗ на вводі під номером 1.

Необхідно скласти схему заміщення силової частини на стороні НН (0,4 кВ) (рис. 3.3)



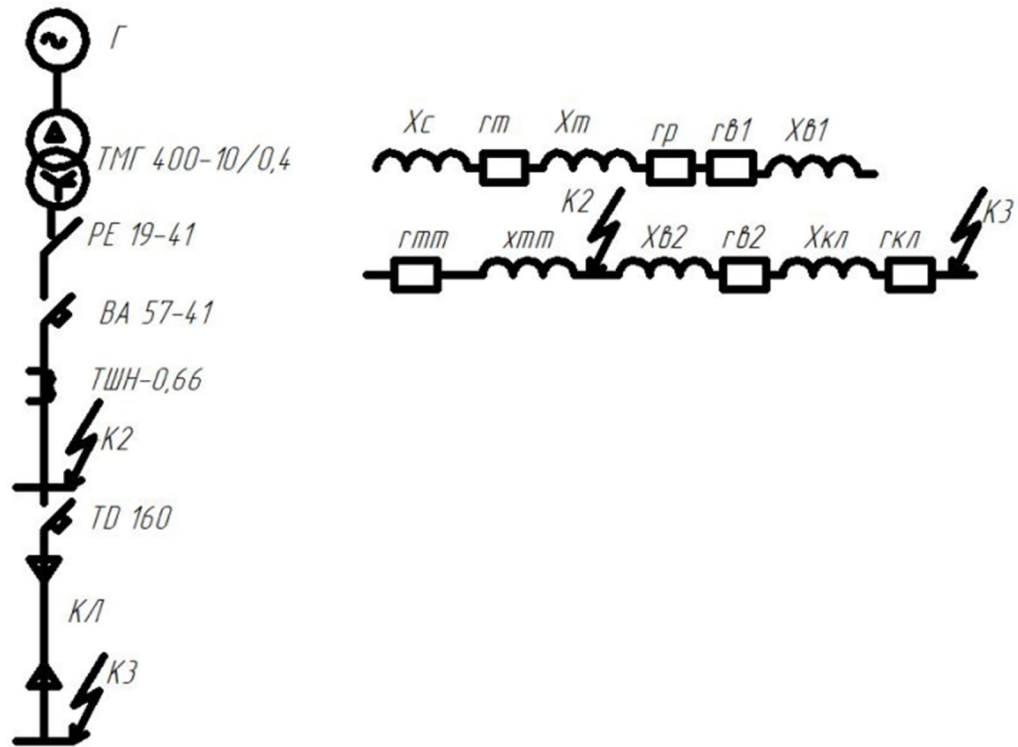


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема (а) та схема заміщення (б) на стороні НН

Зробимо розрахунок параметрів схеми заміщення.

Параметри системи:

$$x_c = \frac{U_{BH}^2}{S_{кз.с}^{(3)}} \cdot \left( \frac{U_{НН}}{U_{BH}} \right)^2 = \frac{400^2}{57,7 \cdot 10^6} = 2,77 \text{ мОм.}$$

Параметри силового трансформатора

$$r_T = \frac{\Delta P_k \cdot U_n^2}{S_n^2} = \frac{5,5 \cdot 0,4^2}{400^2} = 0,0055 \text{ мОм,}$$

де  $S_n$  – паспортна повна потужність трансформатора,  $\text{кВА}$ ;

$U_n$  – паспортне значення напруги на стороні НН,  $\text{кВ}$ ;

$\Delta P_k$  – паспортне значення втрат у сталі,  $\text{кВт}$ .

$$z_T = \frac{U_k \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n} = \frac{4,5 \cdot 0,4^2}{100 \cdot 400} = 0,018 \text{ мОм,}$$

де  $U_k$  – паспортне значення втрат в міді, %

$$x_T = \sqrt{z_T^2 - r_T^2} = \sqrt{0,018^2 - 0,0055^2} = 0,017 \text{ мОм}$$

Параметри вимірювального трансформатора струму ТС:

$$r_{TC} = 0,05 \text{ мОм},$$

$$x_{TC} = 0,07 \text{ мОм}$$

Параметри комутаційних апаратів (автоматичний вимикач №1 – 2

$$r_{\epsilon 1} = 0,065 \text{ мОм},$$

$$x_{\epsilon 1} = 0,17 \text{ мОм},$$

$$r_{\epsilon 2} = 1,3 \text{ мОм},$$

$$x_{\epsilon 1} = 0,7 \text{ мОм},$$

Параметри силового устаткування (роз'єднувач):  $r_p = 0,15 \text{ мОм},$ .

При визначенні струму КЗ в схему заміщення вводиться активний опір, що сукупно враховує всі опори контактів (рубильників, автоматів, контактів).

Додатковий опір:

- на ПС:  $r_{\delta} = 15 \text{ мОм};$

- на РП, які заживлено від щитів ТП:  $r_{\text{доод}} = 20 \text{ мОм}.$

Параметри провідників (кабельні лінії):

$$r_{KL} = \frac{r_0 \cdot l_{KL}}{2} = \frac{0,326 \cdot 0,145}{2} = 0,023 \text{ мОм},$$

$$x_{KL} = \frac{x_0 \cdot l_{KL}}{2} = \frac{0,0602 \cdot 0,145}{2} = 0,004 \text{ мОм},$$

Далі за допомогою суми алгебри складаємо всі відомі активні і реактивні опори між собою і знаходимо повний опір кола до точки КЗ К2:

$$r_{\Sigma K2} = r_m + r_p + r_{TC} + r_{\epsilon 1} + r_{\text{доод}} = 0,0055 + 0,15 + 0,05 + 0,65 + 15 = 15,86 \text{ мОм},$$

$$x_{\Sigma K2} = x_m + r_{TC} + r_{\epsilon 1} + r_c = 0,017 + 0,07 + 0,17 + 2,77 = 3,03 \text{ мОм},$$

$$z_{\Sigma K2} = \sqrt{r_{\Sigma K2}^2 + x_{\Sigma K2}^2} = \sqrt{15,86^2 + 3,03^2} = 6,14 \text{ мОм}.$$

Проводимо розрахунок трифазного струму КЗ на ТП (К2):

$$I_{K.K2}^{(3)} = \frac{U_{\text{сер.н}}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma K2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 16,14 \cdot 10^{-3}} = 14,31 \text{ кА}.$$

Проведемо розрахунок ударного трифазного струму КЗ на ТП (К2):

$$i_{\text{уд.к2}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot I_{K.K2}^{(3)} \cdot \kappa_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 14,31 \cdot 1,23 = 25,03 \text{ кА}.$$

Далі за допомогою суми алгебри складаємо всі відомі активні і реактивні опори між собою і знаходимо повний опір кола до точки  $K3$   $K3$ :

$$r_{\Sigma K3} = r_{\Sigma K2} + r_{кл} + r_{\delta 2} + r_{доd} = 15,86 + 1,3 + 23 + 20 = 60,16 \text{ мОм},$$

$$x_{\Sigma K3} = x_{\Sigma K2} + r_{\delta 2} + r_{кл} = 3,03 + 0,725 + 0,7 + 4 = 8,02 \text{ мОм},$$

$$z_{\Sigma K3} = \sqrt{r_{\Sigma K3}^2 + x_{\Sigma K3}^2} = \sqrt{60,16^2 + 8,02^2} = 60,19 \text{ мОм}.$$

Проводимо розрахунок трифазного струму  $K3$  на  $ТП$  ( $K3$ ):

$$I_{к.к3}^{(3)} = \frac{U_{сер.н}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma,к3}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 60,69} = 3,81 \text{ кА}.$$

Проведемо розрахунок ударного трифазного струму  $K3$  на  $ТП$  ( $K3$ ):

$$i_{уд.к3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot I_{к.к3}^{(3)} \cdot \kappa_{уд} = \sqrt{2} \cdot 3,81 \cdot 1 = 6,6 \text{ кА}.$$

Виходячи з паспортних параметрів внутрішнього розподільчого пристрою струм електродинамічної стійкості дорівнює  $= 30 \text{ кА}$ .

Отже, ударний розрахунковий струм задовольняє умову вибору даного ВРП ( $30 \text{ кА} > 6,6 \text{ кА}$ ).

Далі розрахуємо повний струм дугового короткого замикання лікувального закладу.

На початку знайдемо повний опір з урахуванням опору самої дуги:

Проводимо розрахунок повного опору кола в точці  $K2$  з урахуванням опору дуги:

$$z_{\Sigma} = \sqrt{(r_{\Sigma K2} + r_{\delta})^2 + x_{\Sigma K2}^2} = \sqrt{(15,86 + 15)^2 + 3,32^2} = 31,03 \text{ мОм}$$

Проводимо розрахунок повного опору кола в точці  $K3$  з урахуванням опору дуги:

$$z_{\Sigma} = \sqrt{(r_{\Sigma K3} + r_{\delta})^2 + x_{\Sigma K3}^2} = \sqrt{(60,16 + 15)^2 + 7,73^2} = 78 \text{ мОм}$$

Далі знаходимо значення коефіцієнта зниження  $K3$  в початковий момент часу і для усталеного моменту  $K3$  [14].

Вибираємо для точки  $K2$

$$\kappa_{c1} = 0,76; \kappa_{c2} = 0,64$$

Вибираємо для точки КЗ

$$\kappa_{c1} = 0,85; \kappa_{c2} = 0,77$$

Далі робимо розрахунок струму трифазного дугового КЗ для лікувального закладу:

$$I_{КД}^{(3)} = I_{КД}^{(3)} \cdot \kappa_c$$

Проводимо розрахунок повного трифазного струму КЗ у точці К2 з урахуванням опору дуги:

$$I_{КД}^{(3)} = 14,26 \cdot 0,76 = 10,87 \text{ кА}; t \approx 0;$$

$$I_{КМ}^{(3)} = 14,26 \cdot 0,64 = 9,16 \text{ кА}; t_{кз} > 0,05 \text{ с.}$$

Проводимо розрахунок повного трифазного струму КЗ у точці К3 з урахуванням опору дуги:

$$I_{КД}^{(3)} = 3,81 \cdot 0,86 = 2,74 \text{ кА}; t \approx 0;$$

$$I_{КМ}^{(3)} = 3,81 \cdot 0,85 = 3,24 \text{ кА}; t_{кз} > 0,05 \text{ с.}$$

Далі робимо розрахунок ударного струму КЗ для лікувального закладу:

$$i_{уд.кз} = \sqrt{2} \cdot I_{КМ}^{(3)} \cdot \kappa_y$$

Проводимо розрахунок повного ударного струму в точці К2 з врахуванням опору дуги:

$$\frac{x_{\Sigma к3}}{r_{\Sigma к3}} = 0,011; \kappa_y = 1;$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{КМ}^{(3)} \cdot \kappa_y = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 3,24 = 4,15 \text{ кА.}$$

### 3.7 Повний розрахунок та встановлення електричних провідників для силового електрообладнання

#### 3.7.1 Встановлення електричних провідників для силового електроустаткування на стороні ВН

Вибираємо силове обладнання – вимикач навантаження.

Умови вибору силового обладнання (вимикача навантаження), полягає в порівняння напруги мережі з номінальною напругою вимикача навантаження,

порівняння номінального струму мережі з номінальним струмом вимикача навантаження, з розрахунковою здатністю вимикача і відключаючою здатністю вимикача навантаження ( $I_{вимк}$ ), порівняння відключаючої здатності аперіодичної складової струму короткого замикання, стійкість до електродинамічної та термічної стійкості:

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} \leq U_{мер.ном} = 10 \text{ кВ}$$

$$I_{ном} = 1,4 \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 1,4 \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 30,79 \text{ А}$$

$$I_{ном.довг} = 30,79 \leq I_{ном} = 630 \text{ А}$$

$$I_{n.0} = 3,17 \text{ кА} \leq I_{вим.ном} = 20 \text{ кА}$$

$$i_{a.ном} = \left( \sqrt{2} \cdot \frac{32}{100} \right) \cdot 20 = 9,051 \text{ кА}$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{n.0} \cdot e^{-t/T_a} = \sqrt{2} \cdot 3,17 \cdot e^{-0,05/0,05} = 1,65 \text{ кА}$$

$$I_{n.0} = 3,17 \text{ кА} \leq I_{n.pc} = 20 \text{ кА}$$

$$i_{y0} = 7,97 \text{ кА} \leq i_{n.pc} = 51 \text{ кА}$$

$$B_{\kappa} = I_{n.0}^2 \cdot (t_{вим} + T_a) = 3,17^2 \cdot (0,32 + 0,05) = 3,712 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$B_{\kappa.ном} = 20^2 \cdot 0,32 = 128 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$B_{\kappa} = 3,712 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq B_{\kappa.ном} = 128 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

За результатами розрахунку до встановлення вибираємо вимикач навантаження ВНАП 10-630-20-23 УЗ [15], з номінальною напругою 10 кВ, номінальним тривалим струмом 630 А струм відключення 20 кА. Один силовий вимикач буде встановлений в комірку повітряного вводу, другий в комірку силового трансформатора.

Вибираємо захисне обладнання – запобіжник.

Умови вибірки захисного обладнання (запобіжник), полягає в порівнянні напруги мережі з номінальною напругою запобіжника, порівняння номінального струму мережі з номінальним струмом запобіжника, з розрахунковою вимикаючою здатністю, і вимикаючою здатністю запобіжника ( $I_{вим}$ ):

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} \leq U_{мер.ном} = 10 \text{ кВ}$$

$$I_{ном.довг} = 30,79 \leq I_{ном} = 50 \text{ А}$$

$$I_{н.0} = 3,17 \text{ кА} \leq I_{вим.ном} = 12,5 \text{ кА}$$

За результатами розрахунку вибираємо запобіжник марки «ПКТ» [15] з номінальною напругою 10 кВ, номінальним струмом 50 А, і номінальним струмом відключення 12,5 кА.

Вибираємо силове обладнання – роз'єднувач.

Умови вибірки силового устаткування (роз'єднувача), полягає у порівняння напруги мережі з номінальною напругою роз'єднувача, порівняння номінального струму мережі з номінальним струмом роз'єднувача, стійкість до електродинамічної та термічної стійкості.

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} \leq U_{мер.ном} = 10 \text{ кВ}$$

$$I_{ном} = 1,4 \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 1,4 \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 30,79 \text{ А}$$

$$I_{ном.довг} = 30,79 \leq I_{ном} = 400 \text{ А}$$

$$i_{уд} = 7,97 \text{ кА} \leq i_{н.рс} = 25 \text{ кА}$$

$$B_{\kappa} = I_T^2 \cdot t_T = 3,17^2 \cdot 4 = 40,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$B_{\kappa.ном} = 10^2 \cdot 4 = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$B_{\kappa} = 40,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq B_{\kappa.ном} = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

За результатами розрахунку вибираємо роз'єднувач марки «РЛНД – УХЛ1» [15], з одним заземляючим ножем, номінальною напругою 10 кВ, та номінальним тривалим струмом 400 А.

Далі вибираємо вимірювальний трансформатор струму ТС.

Умови вибірки вимірювального ТС, полягає у порівняння напруги мережі з номінальною напругою ТС та порівняння номінального струму мережі з номінальним первинним струмом ТС, стійкість на електродинамічну та термічну стійкість.

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} \leq U_{мер.ном} = 10 \text{ кВ}$$

$$I_{ном} = 1,4 \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 1,4 \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 21,99 \text{ A}$$

$$I_{ном.довг} = 21,99 \leq I_{ном} = 40 \text{ A}$$

$$i_{y\partial} = 7,97 \text{ кА} \leq i_{н.рс} = 10 \text{ кА}$$

$$B_k = I_{н.0}^2 \cdot (t_{вим} + T_a) = 3,17^2 \cdot (0,32 + 0,05) = 3,712 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$B_k = 10,05 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq B_{к.ном} = 16 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

За результатами розрахунку вибираємо ТС марки «ТОЛ-10» [15], з номінальною напругою 10 кВ, та номінальним тривалим струмом 630 А, струмом відключення 51 кА.

### 3.7.2 Установка електричних провідників для силового електрообладнання на стороні НН

#### Вибираємо силове обладнання – роз'єднувач.

Умови вибірки силового обладнання (роз'єднувача), полягає в порівнянні напруги мережі з номінальною напругою роз'єднувача, порівняння номінального струму мережі з номінальним струмом роз'єднувача.

$$U_{ном} = 0,38 \text{ кВ} \leq U_{мер.ном} = 0,4 \text{ кВ}$$

$$I_{ном} = 1,4 \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 1,4 \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 808,3 \text{ A}$$

$$I_{ном.довг} = 21,99 \leq I_{ном} = 40 \text{ A}$$

За результатами розрахунку вибираємо роз'єднувач марки «PE19-41-211100 1000А» [15] з номінальним струмом 1000 А.

#### Вибираємо силове обладнання – силовий вимикач.

Умови вибірки силового обладнання (силовий вимикач), полягає в порівнянні напруги мережі з номінальною напругою силового вимикача, порівняння номінального струму мережі з номінальним струмом вимикача.

$$U_{ном} = 0,38 \text{ кВ} \leq U_{мер.ном} = 0,4 \text{ кВ}$$

$$I_{ном} = 1,4 \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 1,4 \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 808,3 \text{ A}$$

$$I_{\text{ном.довг}} = 808,3 \leq I_{\text{ном}} = 1000 \text{ A}$$

Інші вимикачі, які не є комутаційними, вибираються з урахуванням тих самих параметрів. Для визначення максимального струму використовується розрахункова потужність аварійному режимі. Отримані результати заносяться до таблиці І.1 додатку І.

Для підключення до мережі електропостачання корпусів лікувального закладу використовується кабель марки *АВВГ*–1,0 який прокладається в траншеях на глибині 0,7 м щодо планувальної позначки землі. При перетині з комунікаціями та автошляхами кабель захищається азбестоцементною трубою та цеглою відповідно до вимог. Підйоми та спуски кабелю до ДГУ виконуються у водогазопровідній трубі.

Розрахунок живильних ліній ведемо за методикою, описаною при попередньому виборі ліній живлення. При цьому необхідно враховувати уставки розчеплювачів вибраних автоматичних вимикачів.

Якщо споживачі заживлюються одним кабелем, то розрахунок ведеться за спрощеною схемою. Перетин кабелів напругою до 1 кВ визначається за допустимим струмом у нормальному режимі роботи з урахуванням умов його прокладання, перевіряється за струмом перевантаження, втрати напруги, термічної стійкості струмів короткого замикання.

Розрахунковий струм у кабельній лінії у нормальному режимі:

$$I_p = \frac{S_{p.k}}{\sqrt{3} \cdot U_n},$$

де  $S_{p.k}$  – потужність, яка повинна передаватися по кабельній лінії в номінальному режимі, кВА.

Вибирається переріз кабелю так, щоб виконувалася умова:

$$I_p \leq I_{\text{доп.довг}},$$

де  $I_{\text{доп.довг}}$  – довгостроково допустимий струм з вахуванням поправки на число поруч прокладених у землі кабелів  $k_1$  та на температуру навколишнього середовища  $k_t$ :



$$I_{\text{доп.доез}} = k_n \cdot k_t \cdot I_{\text{доп.ном}}$$

При цьому враховуємо втрати напруги в кабельній лінії:

$$\Delta U = \frac{10^5 \cdot P_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{n_k \cdot U_n^2 \cdot \cos \varphi}$$

### 3.8 Висновки до розділу 3

В даному розділі здійснено розрахунок електричних навантаження по усьому лікувальному закладі. Виконано повний розрахунок освітлення та обладнання корпусів лікувального закладу, розраховано та обрано дизель генераторну установку, розраховано струми короткого замикання на стороні високої та низької напруг підстанції. Виконано повний розрахунок та встановлення електричних провідників для силового електрообладнання у лікувальному закладі.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Основні причини ураження людини електричним струмом

До основних причин ураження електричним струмом відносять:

- а) випадкове доторкання або приближення на небезпечну відстань до частин електрообладнання, що знаходяться під напругою;
- б) виникнення напруги на металічних конструктивних частинах електрообладнання - корпусах, кожухах, в результаті пошкодження ізоляції чи інших причин;
- в) виникнення напруги на відключених струмоведучих частинах, на яких працюють люди, внаслідок випадкового включення установки;
- г) виникнення крокової напруги на поверхні землі в результаті замикання провідника на землю.

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом являються: забезпечення недоступності частин електрообладнання, що знаходяться під напругою, від випадкового до нього доторкання; захисне розділення кола; усунення небезпеки ураження електричним струмом при виникненні напруги на корпусах, кожухах і інших частинах електрообладнання, що досягається завдяки використанню малих напруг та подвійної ізоляції, вирівнюванням потенціалу, захисним заземленням, зануленням, захисним відключенням, використанню спеціальних захисних пристроїв - переносних приладів і засобів; організація безпечної експлуатації електрообладнання.

Захисне розділення кола. В розкиданих електричних колах або з великою протяжністю навіть справна ізоляція може мати досить маленький опір, а ємність провідників відносно землі - велику величину. Ці обставини можуть становити велику небезпеку, так як в таких колах до 1000 В із ізолюваною нейтраллю втрачається захисна функція ізоляції провідників і виникає небезпека ураження людини електричним струмом у випадку її доторкання до провідника електричного кола або до іншого предмету, що знаходився під фазною напругою.

Цей недолік електричного кола може бути усунений шляхом захисного розділення кола, тобто розділення досить протяжних гілок електричного кола на декілька менш протяжних і електрично між собою не з'єднаних. Розділення виконують за допомогою спеціальних розділяючих трансформаторів. В результаті такого розділення ізолювані ділянки електричного кола мають великий опір ізоляції та малу ємність провідників відносно землі, завдяки чому можна покращити умови безпеки загалом.

## **4.2 Захисне заземлення та занулення**

Захисне заземлення - спеціальне з'єднання із землею металевих частин обладнання, що не знаходяться під напругою в звичайних умовах, але які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції електрообладнання.

Основна мета захисного заземлення - усунення небезпеки ураження людей електричним струмом при виникненні напруги на конструктивних частинах електрообладнання тобто при "замиканні на корпус".

Принцип роботи захисного заземлення – зниження до безпечних значень напруг доторкнення та кроку, зумовлених "замиканням на корпус". Це досягається зменшенням потенціалу заземленого обладнання, а також вирівнюванням потенціалів за рахунок підйому потенціалу основи, на якій стоїть людина, до потенціалу, близького по величині до потенціалу заземленого обладнання.

Застосовують захисне заземлення у трифазних колах з напругою до 1000 В з ізолюваною нейтраллю і більше 1000 В з любым режимом нейтралі.

Заземлюючим пристроєм називають сукупність заземлювача – металевих провідників, що мають електричний зв'язок із землею, і заземлюючих провідників, що з'єднують заземлені частини електрообладнання із заземлювачем. Відрізняють два типи заземлюючих пристроїв: виносні та контурні.

Виносний заземлюючий пристрій характеризується тим, що його заземлювач поміщений за територію де розміщено заземлююче обладнання, або заземлювач розташовують на невеликій частині цієї території. Недоліком виносного заземлюючого пристрою являється віддалення заземлювача від заземлюючого електрообладнання, внаслідок чого коефіцієнт  $a=1$ . Тому такий тип заземлення застосовують при малих струмах замикання на землю і частково в установках до 1000 В, де потенціал заземлювача не перевищує допустимої напруги доторкування. Перевагою являється те, що можна вибрати місце розміщення електродів із найменшим опором ґрунту.

Контурний заземлюючий пристрій характеризується тим, що його одиночні заземлювачі розміщуються по контуру або периметру території, на якій знаходиться заземлююче обладнання, або розпроділяються по всій території рівномірно. При контурному заземленні забезпечується вирівнювання потенціала на території до такої величини, щоб максимальне значення напруг доторкання та кроку не перевищували допустимих. Це досягається шляхом відповідного розміщення одиночних заземлювачів. Всередині приміщення вирівнювання потенціалу відбувається природнім шляхом через металічні конструкції, трубопроводи, кабелі і інші струмопровідні елементи, що зв'язані із колом заземлення.

Розрізняють штучні заземлювачі, що використовують виключно для заземлення та природні - металічні предмети для іншого призначення, що знаходяться в землі. Для штучного заземлення використовують зазвичай вертикальні і горизонтальні електроди. В якості вертикальних електродів використовують металічні труби діаметром 3-5 см і металічні кутники розміром від 40x40 до 60x60 мм і довжиною 2,5-3 м. В останні роки всечастіше почали використовувати металічні прутки 10-12 мм і довжиною до 10м. Для зв'язку вертикальних електродів і в якості горизонтального електрода використовують полосу сталь січенням не менше 4x12 мм або сталь круглого січення діаметром не менше 6 мм. Для розміщення вертикальних заземлювачів риють траншею

глибиною 0,7 - 0,8 м, після чого за допомогою механізмів забивають труби або кутники.

В якості природних заземлювачів можна використовувати проложені в землі водопровідні труби і інші металічні трубопроводи, за виключенням труб, що проводять горючі суміші, газ, а також не можна використовувати в якості природних заземлювачів трубопроводи, що покриті ізоляцією для захисту від корозії. Також використовують металічні конструкції і арматуру залізобетонних конструкцій будинків, що мають з'єднання із землею; свинцеві оболонки кабелів, що проходять під землею.

Відповідно до ПУЕ, опір захисного заземлення в любу пору року не повинно перевищувати 4 Ом в установках із напругою до 1000 В, але якщо потужність джерела струму (генератора або трансформатора) менше 100 кВ·А тоді опір заземлення допускається 10 Ом. Для установок із напругою вище 1000 В та з великими струмами замикання на землю (більше 500 А) опір заземлення не повинен перевищувати 0,5 Ом. Не більше 10 Ом опір заземлення повинен бути для установок більше 1000 В із малими струмами замикання на землю і без компенсації ємнісних струмів; якщо заземлююче обладнання одночасно використовується для електроустановок напругою до 1000 В, то опір заземлення не повинен перевищувати  $125/I_3$ , але не більше 10 Ом (або 4 Ом, якщо це вимагається для установок до 1000 В).

Захисне заземлення необхідне при експлуатації обладнання, яке може опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції самого електрообладнання. При цьому в приміщеннях із підвищеною небезпекою або заземлення являється обов'язковою умовою при номінальній напрузі електрообладнання вище 36 В змінного і ПО В постійного струму, а в приміщеннях без підвищеної небезпеки - при напрузі 500 В і вище. Тільки у вибухонебезпечних приміщеннях заземлення використовують незалежно від величини напруги. Отже, за допомогою захисного заземлення можна уникнути небезпеки ураження людини електричним струмом при виникненні напруги на конструктивних частинах електрообладнання тобто при "замиканні на корпус".

## **Занулення**

Зануленням називають приєднання до не однократного заземленого нульового проводу живлячих кола корпусів і інших конструктивних сталевих елементів електрообладнання, які у звичайних умовах не знаходяться під напругою, але внаслідок пошкодження ізоляції можуть опинитися під напругою. Принципова схема занулення показана на рис 4.1. Основна функція занулення така ж як у захисного заземлення: унеможливлення небезпеки ураження людей струмом при пробії на корпус. Вирішується така задача автоматичним відключенням пошкодженого обладнання від кола живлення.

Принцип дії занулення - перетворити пробію на корпус в однофазне коротке замикання, тобто замикання між фазним і нульовим проводами, із метою створення великого по величині струму, що зможе забезпечити ввімкнення захисту і тим самим відключити обладнання від кола живлення. До такого захисту можна віднести: плавкі вставки чи автоматичні вимикачі, що ставлять перед користувачами електричної енергії для захисту від струмів короткого замикання. Швидкість відключення пошкодженого обладнання, тобто час з моменту виникнення напруги на корпусі до моменту відключення установки від кола живлення, складає 5-7 с при захисті обладнання плавкими вставками і 1-2 с при захисті автоматами. Область застосування занулення до 1000 В із глухозаземленою нейтраллю. Зазвичай це кола напругою 380/220 і 220/127 В.

### **4.3 Ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій**

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

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.

Сутність рятувальних та інших невідкладних робіт – це усунення безпосередньої загрози життю та здоров'ю людей, відновлення життєзабезпечення населення, запобігання або значні зменшення матеріальних збитків. Рятувальні та інші невідкладні роботи включають також усунення пошкоджень, які заважають проведенню рятувальних робіт, створення умов для наступного проведення відновлювальних робіт. РіНР поділяють на рятувальні роботи та невідкладні роботи.

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.

До невідкладних робіт відносять:

- прокладання колонних шляхів та улаштування проїздів (проходів) у завалах та на зараженій території;
- локалізація аварій на водопровідних, енергетичних, газових і технологічних мережах;
- ремонт та тимчасове відновлення роботи комунально-енергетичних систем та мереж зв'язку для забезпечення рятувальних робіт;
- зміцнення або руйнування конструкцій, які загрожують обвалом і безпечному веденню робіт;

РіНР здійснюють у три етапи. На першому етапі вирішуються завдання:

- щодо екстреного захисту населення;
- з запобігання розвитку чи зменшення впливу наслідків;
- з підготовки до виконання РіНР.
- Основними заходами щодо захисту населення є:
  - оповіщення про небезпеку;
  - використання засобів захисту;
  - додержання 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;



- проведення інших невідкладних робіт, що сприяють і забезпечують здійснення рятувальних робіт;
- 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, територій;
- 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

В даній роботі здійснено проектування надійної, безпечної системи електропостачання лікувального закладу з урахуванням вимог щодо якості електричної енергії.

Отримані наступні результати:

- проведено аналіз характерних для багатопрофільних лікувальних установ електроприймачів, розглянуто вимоги, які ставляться до системи електропостачання лікувальних закладів щодо надійності, якості електропостачання, та безпеки;

- доведено, що для забезпечення надійності електропостачання багатопрофільних лікувальних закладів необхідна система безперебійного живлення на основі джерел безперебійного живлення (ДБЖ) та схема паралельно включених ДБЖ з резервуванням; дизель-генераторна установка (ДГУ) та пристрій автоматичного включення резерву (АВР) для перемикання живлення на резервний – ДГУ;

- дано оцінку можливим варіантам побудови схеми електропостачання, та вибору електричного обладнання для лікувальних закладів;

- розроблено схему електропостачання лікувального закладу з урахуванням рекомендацій;

- побудовано тимчасову діаграму роботи комплексу СБЕ-СГЕ, а також обрано електричну схему електропостачання МЛІУ з медичною ІТ системою;

- розроблено та обрано заходи щодо забезпечення якості електроенергії системи електропостачання багатопрофільного лікувального закладу.

Таким чином, при проектуванні системи електропостачання лікувального закладу було обрано оптимальні схемні рішення для забезпечення надійності та безпеки електропостачання, а також покращення якості електроенергії для споживачів медичних закладів

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Держенергонагляд здійснив оцінку технічного стану об'єктів електромереж медичних закладів України // Державна інспекція енергетичного нагляду України [Веб-сайт]. - Київ, 2020. - URL: <https://sies.gov.ua/news/derzhenergonaglyad-zdijsniv-ocinku-tehnichnogo-stanu-obyektiv-elektromerezh-medichnih-zakladiv-ukrayini> (дата звернення: 30.10.2020).
2. ДБН В.2.5-23:2010 "Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення". Наказ Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 15 лютого 2010 р. № 64.
3. Бабюк, С. М., Клебан, К. М., & Танасійчук, В. В. (2021). Шляхи підвищення надійності електропостачання. Збірник тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 5-6.
4. Фактори, що впливають на надійність електропостачання / С. М. Бабюк, О. В. Красножоний, В. П. Барило, Б. В. Брич // Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 25-26 листопада 2020 року. — Т. : ТНТУ, 2020. — Том 2. — С. 84–85. — (Електротехніка та енергозбереження).
5. ДСТУ EN 50160:2014 Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності (EN 50160:2010, IDT)
6. Якість електроенергії та її вплив на електроспоживання і надійність роботи електроустаткування // PATRIOT-NRG. Міжнародний портал з енергозбереження [Веб-сайт]. - Київ. - URL: <https://patriot-nrg.com/content/yakist-elektroenergiyi-ta-yiyi-vplyv-na-elektrospozhyvannya-i-nadiynist-roboty> (дата звернення: 23.10.2023).
7. П.Євтух. Облік електроенергії при несинусоїдальних і несиметричних режимах у мережах електропостачання міст / П.Євтух, С.Бабюк, Т.Кислиця // Вісник ТНТУ. — 2013. — Том 70. — № 2. — С.183-189.

8. Герасимів В. Я. Дослідження та аналіз схем електропостачання споживачів в аварійних ситуаціях : автореферат дипломної роботи магістра за спеціальністю „141 — електроенергетика, електротехніка та електромеханіка“ / В. Я. Герасимів. — Тернопіль: ТНТУ, 2018. — 10 с.
9. Boshell P. RPA - Redundant Parallel Architecture / P. Boshell // Професійна спільнота LinkedIn. - URL: [https://www.linkedin.com/pulse/rpa-redundant-parallel-architecture-patrick-boshell?trk=public\\_profile\\_article\\_view](https://www.linkedin.com/pulse/rpa-redundant-parallel-architecture-patrick-boshell?trk=public_profile_article_view) (дата звернення: 01.11.2023).
10. ДБН В.2.2-10:2022 Заклади охорони здоров'я (затверджені Наказом Міністерства розвитку громад та територій України від 26.12.2022 року №278.
11. Лук'яненко Ю. В. Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні : Навч. посіб. / Ю. В. Лук'яненко, Ж. І. Остапчук, В. В. Кулик; Вінниц. держ. техн. ун-т. - Вінниця, 2002. - 111 с. 77 23.
12. Природне та штучне освітлення. ДБН В.2.5-28:2018 [Електронний ресурс] // Державне підприємство "Укрархбудінформ". - 2018. - Режим доступу: <http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2018/12/V2528-1.pdf>
13. Афанасьєв, П. В., Трембовецький, М. П., Бондаренко, В. М., Трінтіна, Н. А., & Седченко, М. М. (2018). Порівняльна характеристика джерел безперебійного живлення центрів обробки даних. Зв'язок, (6), 12-14.
14. Розрахунок струмів коротких замикань. Навчальний посібник / Н. В. Букович, Г. М. Лисяк, Г. Н. Міркевич, А. Я. Яцейко. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. 236 с.
15. Укрелектро. Високовольтне та низьковольтне обладнання [Веб-сайт]. - Запоріжжя, 2023. - URL: <https://ukrelektro.com.ua/> (дата звернення: 06.11.2023).
16. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво "Форт", 2017. - 760 с.
17. ДБН В.2.5-23:2010 Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення : Державні будівельні норми і правила // ДП "Укрархбудінформ". Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 169 с.

18. Казанський, С. В. Надійність електроенергетичних систем [Електронний ресурс] : навчальний посібник / С. В. Казанський, Ю. П. Матеєнко, Б. М. Сердюк ; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 6,95 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – 216 с.

19. Лук'яненко Ю. В. Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні : Навч. посіб. / Ю. В. Лук'яненко, Ж. І. Остапчук, В. В. Кулик; Вінниц. держ. техн. ун-т. - Вінниця, 2002. - 111 с. 77 23.

20. Design of an intelligent system to control educational laboratory equipment based on a hybrid mini-power plant. Orobchuk, B., Buniak, O., Babiuk, S., Sysak, I. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2023, 2(9-122), pp. 59–72. ISSN 1729-3774

21. Orobchuk B., Sysak I., Babiuk S., Rajba T., Karpinski M., Klos-Witkowska A., Szkarczyk R., Gancarczy J. Development of simulator automated dispatch control system for implementation in learning process. 2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS). IEEE, Buharest, vol. 1, September 2017, pp. 210–214.

22. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання «БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ» / В.С. Стручок –Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., –156 с.