

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: Система безперебійного живлення для електропостачання
лікувального закладу (комплексна тема)

Виконали: студенти 4 курсу, групи ЕТ-41
спеціальності 141

електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

Мимрик У. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Солян М.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Бабюк С. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Мовчан Л. Т.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Коваль В. П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Шелестовський Б. Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Коваль В. П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 02 » січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

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

студенту Мимрик Уляні Володимирівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Система безперебійного живлення для електропостачання лікувального закладу (комплексна тема).

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

Затверджені наказом ректора від « 31 » грудня 2025 року № 4/7-1162

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 червня 2026 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)

Вступ

1. Аналітичний розділ
2. Розрахунково-дослідницький розділ
3. Проектно-конструкторський розділ
4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Загальні висновки

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
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	К.т.н., доцент Гурик О. Я.		

7. Дата видачі завдання 02 січня 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	15.01.2026	
2	Аналітичний розділ	15.02.2026	
3	Розрахунковий розділ	01.04.2026	
4	Проектно-конструкторський розділ	15.05.2026	
5	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	01.06.2026	
6	Висновки	10.06.2026	
7	Оформлення пояснювальної записки	15.06.2026	
8	Оформлення графічної частини	15.06.2026	

Студент

_____ (підпис)

Мимрик У. В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Бабюк С. М.

_____ (прізвище та ініціали)

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

Коваль В. П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 02 » січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

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

студенту Соляну Михайлу Васильовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Система безперебійного живлення для електропостачання лікувального закладу (комплексна тема).

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

Затверджені наказом ректора від « 31 » грудня 2025 року № 4/7-1162

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 червня 2026 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)

Вступ

1. Аналітичний розділ
2. Розрахунково-дослідницький розділ
3. Проектно-конструкторський розділ
4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Загальні висновки

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
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	К.т.н., доцент Гурик О. Я.		

7. Дата видачі завдання 02 січня 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	15.01.2026	
2	Аналітичний розділ	15.02.2026	
3	Розрахунковий розділ	01.04.2026	
4	Проектно-конструкторський розділ	15.05.2026	
5	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	01.06.2026	
6	Висновки	10.06.2026	
7	Оформлення пояснювальної записки	15.06.2026	
8	Оформлення графічної частини	15.06.2026	

Студент

_____ (підпис)

Солян М. В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Бабюк С. М.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Мимрик Уляна Володимирівна, Солян Михайло Васильович – Система безперебійного живлення для електропостачання лікувального закладу (комплексна тема).

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Стор.– 77; рис. - 13; табл. - 9; слайдів - 13; джерел - 22; додатків - 2.

У цій кваліфікаційній праці виконано розробку надійної та безпечної структури електрозабезпечення медичної установи із дотриманням усіх нормативних критеріїв стосовно параметрів електроенергії.

Було виконано дослідження специфіки електроприймачів, притаманних багатопрофільним лікувальним центрам, а також детально вивчено вимоги до систем розподілу енергії стосовно безперебійності, параметрів струму та загальної безпеки.

Представлено і аргументовано набір дій для забезпечення належної якості енергопостачання в мережі багатопрофільного медичного закладу.

Обрано найбільш раціональні конфігурації схем, що гарантують високу стійкість, захищеність та оптимізацію характеристик електроенергії для специфічного обладнання й споживачів охорони здоров'я.

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

	5
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	12
1.3 Висновки до розділу 1	18
2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	19
2.1 Система безперебійного електропостачання	19
2.2 Основні принципи побудови систем безперебійного електропостачання лікувального закладу	20
2.3 Система гарантованого електропостачання	27
2.4 Основні принципи побудови систем безперебійного електропостачання лікувального закладу	30
2.5 Висновки до розділу 2	34
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	35
3.1 Аналіз існуючої структури електрогосподарства об'єкта описом схеми зовнішнього електропостачання	35
3.2 Розрахунок електричних навантажень на корпуси лікувального закладу	37
3.2.1 Повний розрахунок освітлення та обладнання корпусів лікувально-медичної установи	37
3.2.2 Повний розрахунок штучного освітлення	40
3.3 Встановлення силових трансформаторів з компенсацією реактивної потужності	43
3.4 Встановлення джерел безперебійного живлення (ДБЖ)	48
3.5 Вибір типу та розрахунок потужності дизельної електростанції (ДЕС)	50
3.6 Повний розрахунок струмів КЗ	51
3.6.1 Повний розрахунок струмів КЗ на стороні вище 1 кВ	53
3.6.2 Повний розрахунок струмів КЗ на стороні НН	53

3.7 Повний розрахунок та встановлення електричних провідників для силового електрообладнання	60
3.7.1 Вибір електричних провідників для силового електрообладнання на стороні ВН	60
3.7.2 Вибір електричних провідників для силового електрообладнання на стороні НН	63
3.8 Висновки до розділу 3	65
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	66
4.1 Основні причини ураження людини електричним струмом	66
4.2 Захисне заземлення та занулення	68
4.3 Ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій	70
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	74
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	75

ВСТУП

Актуальність проблеми.

Комплексне обстеження технічного рівня електромереж закладів охорони здоров'я [1] виявив, що переважна більшість існуючих схем електропостачання не відповідає встановленим вимогам надійності. Додатковим ускладненням є значна фізична зношеність комунікацій. Результати дослідження [1] свідчать про те, що електрозабезпечення окремих лікувально-профілактичних закладів не відповідає ДБН В.2.5-23:2010 [2]. Необхідно здійснити модернізацію та прокладання додаткових ліній електропередач до медичних установ, а також встановити трансформаторні підстанції з метою створення додаткових джерел електропостачання. У низці лікарень потрібно забезпечити встановлення систем автоматичного введення резервного живлення 0,4 кВ у трансформаторних та розподільчих підстанціях.

Оскільки більшість технічних приладів, що класифікують як реанімаційне обладнання, відрізняються складною будовою, існує пряма залежність від безперебійного та стабільного електропостачання. Навіть незначна несправність, що виникла в окремих елементах системи, може призвести до істотного погіршення якості електроенергії та повного виходу з ладу всього електроустаткування.

З метою гарантування стабільності роботи системи електроживлення закладів охорони здоров'я слід передбачати різні способи резервування та автономні джерела живлення. Цей варіант передбачає вищі витрати, ніж аналогічне рішення без прямого резервування, водночас його ефективність не завжди є економічно виправданою. Наприклад, надлишкове резервування може спричинити як зростання витрат, так і підвищення ймовірності збоїв техніки, що в підсумку призводить до зменшення загальної надійності.

Внаслідок технологічного розвитку, що спричиняє перехід усього електричного обладнання до мікропроцесорних систем, медичне обладнання також відповідає цій загальній тенденції. У зв'язку з підвищеною чутливістю

мікропроцесорного обладнання до перерв у електропостачанні, для забезпечення стабільного та надійного живлення електроенергією медичних установ потрібні покращені умови енергозабезпечення. Нехтування вимогами до безпеки та надійності електропостачання може спричинити незворотну шкоду для пацієнтів, як у вигляді ураження струмом, так і через відмову критично важливих систем життєзабезпечення.

Слід також зазначити, що споживачі багатофункціональних лікувально-профілактичних закладів самі впливають на якість електроенергії в мережі, викликаючи коливання напруги, короточасні електромагнітні збурення, несиметрію. Дане явище зумовлене нерівномірним поділом абонентів між фазами, а також швидкозмінним та нелінійним характером навантаження. Це призводить до зростання втрат потужності та електричної енергії, що чинить вирішальний вплив на рентабельність та окупність .

Задля запобігання ускладнень під час монтажу імпортного обладнання, слід уважно порівнювати технічні характеристики даного устаткування із системою електропостачання медичних установ. Ігнорування цього аспекту часто призводить до необхідності коригування електричної схеми, а в окремих випадках реконструкцію приміщень закладу охорони здоров'я.

Новітні багатопрофільні медичні установи потребують якісного електропостачання, із суворим дотриманням усіх стандартів та регламентів, закріплених у законодавстві (ГОСТів, ДСТУ, ПУЕ тощо). Задля досягнення цієї мети потрібно розробити систему забезпечення електроенергією.

Зважаючи на викладене, стає зрозумілим, що завдання проектування та розбудови системи постачання електричної енергії для багатофункціональних закладів охорони здоров'я є актуальною.

Мета і завдання дослідження.

Ключовим завданням роботи визначено розроблення стабільної та безперебійної системи електрозабезпечення медичних установ з врахуванням вимог нормативних документів.

Для реалізації цілі достатньо опрацювати певні завдання:

- провести аналіз типових для закладів охорони здоров'я приладів, які необхідні для якісної системи електрозабезпечення;
- встановити потенційні альтернативні рішення для схем постання електричної енергії, і підбору відповідних електроприладів
- зробити проєкт електропостачання закладу охорони здоров'я врахувавши рекомендації наведені у методичці.

Об'єктом дослідження – мережа живлення лікувальної установи.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Вимоги до надійності системи електропостачання лікувального закладу

Резервування – є одним серед головних способів, який дозволяє значно підвищити надійність системи електропостачання. Його суть полягає у тому, щоб забезпечити робочий стан об'єкту, з можливістю використання допоміжних інструментів, якщо вийде з ладу одна або кілька його складових.

Масштаби та методи резервування встановлюються відповідно до сучасних стандартів надійності, які визначені для електроприймачів.

Усі електроприймачі класифікують згідно трьох категорій надійності, до I категорії належить також особлива група.



Рисунок 1.1 – Класифікація електроприймачів за категоріями надійності

Опираючись на вимоги надійності, системи постачання електроенергії для забезпечення живлення електроприймачів класифікують за декількома різновидами, а саме: СБЕ (система безперебійного електропостачання), СГЕ (система гарантованого електропостачання) та СЗЕ (система загального

електропостачання) [3].

В комплексних медичних центрах зазвичай використовують усі зазначені системи електропостачання.

Живлення електроприймачів I категорії здійснюється від системи безперебійного електропостачання (живлення) або СБЕ (СБЖ). Згідно сучасної термінології «СБЕ» є ширшим, проте СБЖ також доцільно використовувати, бо він прямо пов'язаний із ДБЖ.

Система безперебійного електропостачання - прилад, який дозволяє забезпечити живленням електричну мережу, якщо відбудеться відключення від первинного джерела зовнішнього постачання електроенергії. Суть її роботи полягає у тому, що вона функціонує з допомогою енергії, яка накопичується у спеціалізованих акумуляторних установках і підтримує стабільну роботу електричної системи впродовж визначеного періоду - до активації резервного джерела або ж відновлення зовнішнього електропостачання. СБЕ гарантує забезпечення електроприймачів такою ж якісною електричною енергією, як і за нормального режиму. Система безперебійного електропостачання дає змогу довести усі технологічні процеси до завершення коректно і перейти на режим автономної роботи на певний час зберігаючи безрозривність електропостачання. Водночас якість електроенергії залишається дуже високою та відповідає усім технічним параметрам, а обладнання, підтримуючи електромагнітну сумісність, продовжує стабільно працювати.

Система гарантованого електропостачання - установка, яка забезпечує живленням споживачів, якщо відключено головне зовнішнє постачання електроенергії. За умов нормальної роботи резервне джерело вимкнене, а споживачі II і III категорій підключаються саме до основного живлення.

Найбільший попит мають:

-джерела автономного живлення (UPS або ДБЖ) - прилади, які містять у собі інвертор, зарядний пристрій та акумулятор.

КЛАСИФІКАЦІЯ ДЖЕРЕЛ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ: ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ

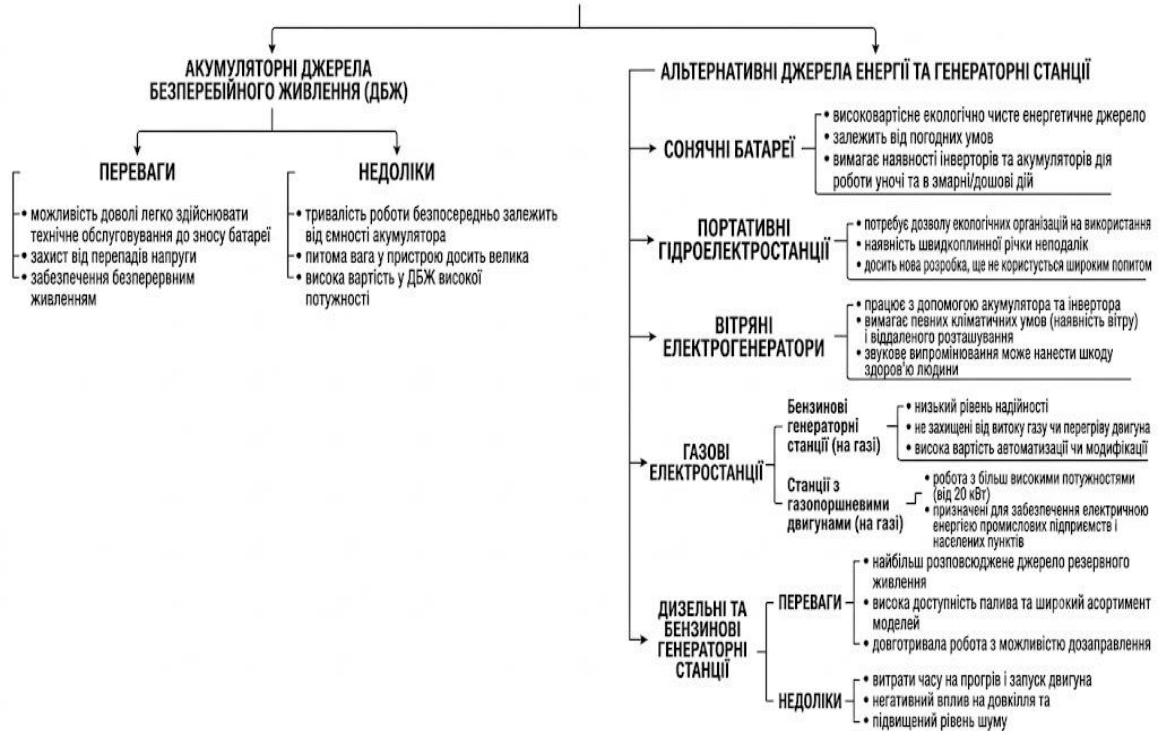


Рисунок 1.2 – Класифікація джерел безперебійного живлення

Отже, здійснивши аналіз вище згаданої інформації, можна зробити висновок, що серед резервних джерел живлення найчастіше обирають і використовують бензинові та дизельні генераторні станції, а також станції з газопоршневими двигунами.

Незалежність - основна та найважливіша вимога до резервних джерел живлення. Вона формується під впливом певних чинників, до прикладу тип вихідного палива для застосування. Якщо буде припинено подачу природного газу або ж різко знизиться тиск у паливній магістралі, то станція з газопоршневими двигунами не буде виробляти достатньої кількості електричної енергії, та доведеться використовувати бензинову станцію або ДБЖ, це призведе до додаткових витрат. У разі вибору між дизельним та бензиновим генераторами, важливо розуміти, що дизельний генератор характеризується більшим ресурсом а також вартість його експлуатації справді нижча, ніж у бензинового.

З огляду на цілі експлуатації, слід обирати відповідний тип генератора: якщо очікується використання доволі рідко та на невеликій потужності варто

обрати бензиновий, якщо ж знадобиться довготривала та безперервна експлуатації, все ж краще обрати генератор з дизельним двигуном.

Медична установа, звісно ж, належить до першого випадку: у разі, якщо основне джерело живлення повністю вийде з ладу, то резервне повинне забезпечити постачання електроенергії настільки довго, наскільки це взагалі можливо, тому варто обирати генератори з дизельним двигуном.

Система загального електропостачання (СЗЕ) - система електропостачання організації, яка дає можливість забезпечити різних споживачів електричною енергією.

Незалежність - основна та найважливіша вимога до резервних джерел живлення. Вона формується під впливом певних чинників, до прикладу тип вихідного палива для застосування. Якщо буде припинено подачу природного газу або ж різко знизиться тиск у паливній магістралі, то станція з газопоршневими двигунами не буде виробляти достатньої кількості електричної енергії, та доведеться використовувати бензинову станцію або ДБЖ, це призведе до додаткових витрат. У разі вибору між дизельним та бензиновим генераторами, важливо розуміти, що дизельний генератор характеризується більшим ресурсом а також вартість його експлуатації справді нижча, ніж у бензинового.

З огляду на цілі експлуатації, слід обирати відповідний тип генератора: якщо очікується використання доволі рідко та на невеликій потужності варто обрати бензиновий, якщо ж знадобиться довготривала та безперервна експлуатації, все ж краще обрати генератор з дизельним двигуном.

1.2 Якісні вимоги до електроенергії в лікувальному закладі

При проектуванні закладів охорони здоров'я важливо враховувати параметри якості електричної енергії [5, 6]: їх відхилення від встановлених норм можуть спричинити несправності медичного обладнання внаслідок недотримання умов експлуатації.

Також відхилення в мережі нерідко спричинені безпосередньо

електроспоживачами, що створюють нелінійне та асиметричне навантаження. Ця властивість електричних пристроїв виникає через електромагнітну несумісність, що передбачає нездатність апаратури нормально працювати в існуючих електромагнітних умовах; при цьому сам пристрій виробляє надмірні електромагнітні перешкоди, які впливають на роботу інших приладів.

Поступові зміни електричного навантаження зумовлюють відхилення показників напруги від нормативних значень. Встановлено, що нормально допустимі відхилення напруги становлять $\pm 5\%$ від номінального значення напруги електричної мережі, тоді як гранично допустимі коливання мають величину до $\pm 10\%$ від номінального значення [5,6]. Коливання напруги, незалежно від її підвищення чи зниження, негативно позначаються на функціонуванні електрообладнання, підключеного до мережі. Освітлювальні прилади та електродвигуни є вразливими до коливань напруги. Коли напруга живлення асинхронних двигунів знижується, це спричиняє значний спад крутного моменту та суттєво зростають втрати електричної енергії, що пропорційні збільшенню номінального струму. Загальновідомо, що такий електродвигун характеризується здатністю до саморегуляції: активна потужність зберігає відносну стабільність незалежно від змін напруги. Отже, сила струму варіюється (зростає або спадає) обернено пропорційна до величини напруги. Падіння напруги спричиняє інтенсивне збільшення реактивної потужності. Розсіювання відбувається внаслідок реактивного опору, що створюється трансформатором та лініями електропередач.

При зростанні напруги підвищується споживана потужність та яскравість люмінесцентних ламп. Зменшення напруги призводить до зниження цих параметрів, однак не так суттєво, як це спостерігається у ламп розжарювання. Загалом, будь-яке коливання напруги несприятливо позначається на роботі люмінесцентних ламп, зокрема: ускладнює запуск та зменшує термін експлуатації. Підвищене споживання реактивної потужності цими лампами при збільшенні напруги вважається суттєвим недоліком цих освітлювальних приладів.

Подібно до іншої сучасної техніки, медичне обладнання безперервно модернізується завдяки впровадженню новітніх технологій та на сьогоднішній день тісно пов'язане з обчислювальною апаратурою. Устаткування підключено до комп'ютерних систем, що забезпечує збереження цифрових результатів аналізів та обстежень. Діагностичні прилади функціонують згідно з встановленими програмами, оснащені датчиками температури, сенсорними екранами, здійснюють обмін даними із серверами та оновлюють інформацію в базах даних пацієнтів.

Ця взаємодія також зумовлює негативні наслідки: коливання напруги спричиняють втрату даних та несправності обладнання. Коливання напруги, які зумовлюють зростання струмового навантаження, можуть спричинити вихід з ладу блоків живлення (у разі зниження напруги) або перегрів устаткування (у разі її підвищення). Нестабільність напруги в системі електропостачання пов'язана з коливаннями споживаної потужності, що мають короточасний характер – від напівперіоду до кількох секунд. Подібні коливання зумовлені функціонуванням потужного електричного обладнання, яке споживає значні обсяги реактивної та активної потужності, що супроводжується раптовими та стрибкоподібними змінами [6]. Лікувально-діагностична також апаратура належить до обладнання зі специфічними характеристиками енергоспоживання. Це стосується, зокрема, апаратів ультразвукової діагностики (УЗД), електродвигунів під час запуску, мамографів, також пристроїв, лікувальний ефект котрих базується на застосуванні імпульсів.

Якщо рівень коливання напруги перевищує 15 %, такий показник може спричинити відхилення від стабільного функціонування електродвигунів та розмикання контактів магнітних пускачів, що спричинить відключення задіяних двигунів. Зокрема зміни напруги в діапазоні 10-15 % можуть впливати на конденсаторні батареї та призводити до їхньої несправності [6]. Отже, нестабільність напруги спричиняє низку небажаних наслідків, зокрема: вібрації механізмів, несправність в роботі автоматичних систем керування, порушення в роботі устаткування [6].

Коливання яскравості освітлення, спричинені змінами напруги, відомі як флікер. За незначної тривалості такі мерехтіння лише втомлюють, проте у випадку довготривалого впливу вони шкодять фізичному та психічному здоров'ю людини. Показник того, як людина відчуває коливання інтенсивності світла, називається дозою флікера. Під час проєктування закладів охорони здоров'я значну увагу приділяють заходам, що сприяють стабілізації показників напруги в електромережі.

Нерівномірне розподілення навантаження у трифазній системі призводить до несиметрії напруг. Однією з можливих причин цього явища [7] є наявність електричних навантажень різної фазності, зокрема симетричних (трифазних) та несиметричних (однофазних). Незбалансованість напруги може спричинити зменшення строку експлуатації устаткування, зокрема силових трансформаторів. Обслуговування однофазних та трифазних електроприймачів за умов, коли напруга відхиляється від номінальних параметрів, призводить до наслідків, аналогічних впливу коливань напруги. Конденсаторні установки також зазнають впливу дисбалансу напруги. Нерівномірність напруги у фазах призводить до прискореного зносу обладнання. Для ілюстрації цього ефекту розглянемо стандартну лампу розжарення, при підключенні до мережі з підвищеною напругою її яскравість збільшиться, проте термін експлуатації скоротиться. Несиметрія напруги також негативно впливає на системи релейного захисту та автоматики медичного обладнання, що призводить до хибних спрацювань або незапланованих відключень.

У разі, коли синусоїда зазнає спотворення, вона характеризується несинусоїдальним характером. Викривлення виникає через зниження напруги в компонентах електричної мережі, зумовлене струмом, що споживається приладами з нелінійним навантаженням. Спотворення синусоїдальної форми напруги можна спостерігати внаслідок перевантаження трансформатора під час його роботи в режимі, близькому до насичення або при функціонуванні систем безперебійного живлення, що використовують батареї. Форма напруги може змінюватися від прямокутної до майже ідеальної синусоїдальної.

Несинусоїдальні напруги можуть призводити до пошкодження ізоляції електричних кабелів та конденсаторів, що може стати причиною однофазних замикань на землю. Усе це негативно впливає на електричне обладнання, особливо трансформатори : спричиняє значні втрати енергії, призводить до збільшення необлікової електроенергії через вплив гармонік на індукційні лічильники, що спричиняє невірний облік, викликаючи збої в роботі систем керування та захисту, а також пошкоджує високотехнологічну техніку.

У разі недостатньої генерації електростанцій системи спостерігається зниження частоти. Значні відхилення частоти виникають внаслідок поступових, систематичних змін навантаження за умови дефіциту активної резервної потужності. Коли частота в мережі відхиляється від номінальних значень, це призводить до зростання втрат активної та реактивної потужностей.

Зменшення частоти може несприятливо вплинути на функціонування електричного обладнання, такого як трансформатори, електродвигуни та реактори з магнітним осердям. Це обумовлено зростанням струму намагнічування у пристроях, що містять сталеві компоненти, а також додатковим нагріванням сердечників.

Несправності в роботі обладнання можуть виникати через електромагнітні перехідні процеси (ЕМПП). Ці ЕМПП є типовими перехідними процесами, що виникають у електричних мережах. Тривалість таких перехідних процесів може змінюватися від кількох періодів до кількох секунд, а пікова частота ЕМПП може доходити до показників, що рівні 10-12 МГц.

Конкретного еталонного числового значення для перешкод не існує, проте їх зазвичай визначають як порушення електромагнітної сумісності.

Раптове зростання напруги, що триває менше 10 мілісекунд, класифікується як імпульс напруги. Такі імпульси виникають під час гроз або внаслідок комутаційних процесів (зокрема, при відключенні струмів короткого замикання) у такому обладнанні, як трансформатори, двигуни, конденсатори та кабелі. Наприклад, вимкнення певного трансформатора в електромережі може спричинити викид високовольтного імпульсу, що відповідає всій накопиченій

ним енергії (до зазначеної величини). Комутаційні імпульси в мережах зазвичай не перевищують певний рівень.

У разі, якщо живлення трансформаторної підстанції здійснюється повітряними лініями електропередач, існує ймовірність проникнення грозового імпульсу в кабельну мережу (що характерно, наприклад, для сільських мереж). Міські мережі, як правило, менш схильні до появи грозових імпульсів, оскільки їхні лінії високої та низької напруги прокладені кабелями під землею.

Різке та значне зростання напруги (понад певне значення), що триває більше 10 мілісекунд, іменується тимчасовою перенапругою. Вона виникає в процесі комутації обладнання або при коротких замиканнях на землю.

У трифазній мережі з напругою понад 1 кВ, у разі обриву заземленого нульового робочого провідника, може виникнути тимчасова перенапруга між фазою та землею. Ця перенапруга здатна досягати рівня міжфазної напруги та тривати до кількох годин, особливо за умови несиметричного навантаження на фазах. Подібний обрив може спричинити збої у функціонуванні обладнання, скорочення його експлуатаційного терміну, порушення робочого режиму, а в критичних ситуаціях – навіть до займання електроустановок та електроприладів.

Не менш шкідливими є й провали напруги з подальшим відновленням – це раптові та суттєві зниження напруги, що можуть тривати до кількох десятків секунд. Причинами таких провалів можуть бути: по-перше, спрацювання систем захисту та автоматики під час несприятливих погодних умов або хибні спрацювання захисних пристроїв; по-друге, виникнення коротких замикань; по-третє, некоректні дії оперативного персоналу.

Збільшення потужності енергосистеми та розширення мережі повітряних ліній, на перший погляд, мали б підвищувати надійність електропостачання. Проте, існує парадокс: ці фактори можуть мати і негативні наслідки, знижуючи надійність функціонування чутливих електронних систем управління та збільшуючи кількість відмов через перешкоди для сприйнятливих електроприймачів. Особливо неприйнятним це явище стає у контексті медичної техніки.

Зниження якості електричної енергії доволі часто стає головною причиною виходу з ладу приладів компенсації несиметричних, нелінійних і ударних навантажень, що призводить до асиметрії коливань і гармонік напруги. Наслідками цього може стати некоректна робота релейного захисту або аварійне знеструмлення. Окрім цього, наявність гармонік спричиняє збій у подачі інформації через силові кола і формувати хибні команди для управління комутаційними пристроями.

З наведеної вище інформації можна зробити висновок, що різне електричне обладнання в медичних центрах тією чи іншою мірою піддається впливу перебоїв електропостачання залежно від виду виниклого порушення. Ці технічні проблеми значно впливають на параметри якості електроенергії: показники якості вважаються низькими, якщо аварійність електричної мережі доволі висока.

1.3 Висновки до розділу 1

Для створення безпечних умов для персоналу і пацієнтів та стабільного функціонування медичних установ повинне бути надійне електропостачання. Постачання електричної енергії для лікувальних закладів вимагає дотримання усіх правил безпеки і норм, хоч і зазвичай використовується для живлення освітлювальних систем та медичного обладнання. Тому важливо вжити всіх необхідних заходів щодо енергозбереження та враховувати споживання у різних частинах медичної установи.

При здійсненні аналізу електроприймачів в комплексних медичних центрах було виявлено, що обладнання має різний рівень складності та функції. Високотехнологічні пристрої вимагають безпечної і надійної системи з якісною електричною енергією. Для надійності електропостачання в лікувальних закладах широкого профілю обов'язкова наявність системи безперебійного живлення на основі ДБЖ і схема паралельного включення ДБЖ з резервуванням $N + 1$; ДГУ (дизель генераторна установка) і прилад автоматичного включення

резерву (АВР) для переходу на резервний режим роботи - ДГУ. Для обладнання у медичних центрах якість електричної енергії надзвичайно важлива, і для її підтримання на високому рівні слід обирати обладнання з покращеними параметрами, використовувати обмежувачі перенапруги (ОПН), рівномірно розподіляти навантаження по фазах а також компенсувати реактивну потужність в мережі. Безпека для споживачів у комплексних медичних закладах має особливе значення, тому потрібно передбачати і враховувати зрівняння потенціалів, медичні розділові трансформатори і системи.

2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Система безперебійного електропостачання

Системами безперебійного електропостачання (СБЕ) називають електроустаткування, що призначене для автономного забезпечення електроенергією електроприймачів у той час, як основні джерела з якихось причин вийшли з ладу. Основною задачею таких систем з забезпечення певного періоду роботи (мінімального часу), впродовж якого буде запущено систему резервного електропостачання (СРЕ) (наприклад, бензинової генераторної станції, тощо).

Системи БЕ усі мають в своїй основі різні конструкції джерел безперебійного живлення, що можуть мати різні технічні характеристики, потужність та будову, але мають одну спільну мету: забезпечити стабільне і надійне джерело електроенергії. У випадку багатопрофільних лікувальних закладів доцільно застосовувати джерела безперебійного живлення (ДБЖ), здатні забезпечувати належний рівень якості електроенергії на вході електроприймачів у штатному режимі функціонування системи зовнішнього електропостачання, адже у випадку недостатньої якості електроенергії джерело відреагує переходом у автономний режим (живлення від батарей). Зміна якості є найпроблемнішим фактором, адже напругу у першу чергу є пов'язаною з напругою у бЦ, що не повинна виходити за певні встановлені рамки на вході в ДБЖ. Щодо інших відхилень від нормативних параметрів електричної енергії ДБЖ є не такими чутливими.

Основними характеристиками Систем безперебійного електропостачання (СБЕ) є:

- надмірне резервування;
- встановлена потужність;
- тривалість автономного живлення.

Паспортну потужність ДБЖ розраховують за значеннями рівня надлишкового резервування та розрахункової потужності.

У випадку максимального резервування СБЕ вмикає обидва (основне та додаткове) ДБЖ. Однак на ділі такий варіант рідко використовується через дороговартісність його реалізації у кожному конкретному випадку.

Найпоширенішим способом резервування є “N+1” або так звана схема “гарячого резерву”. Така конфігурація передбачає, що резервуванню підлягає лише певна частка потужності ДБЖ, яка вже перебуває під навантаженням і може бути оперативно задіяна у разі відмови основного джерела. Теоретично допускається побудова системи безперебійного електроживлення без резервування потужності, однак на практиці цей підхід майже не застосовується. Це зумовлено тим, що розрахункові показники та реальні умови експлуатації суттєво відрізняються: хоча тривалість автономної роботи при номінальному навантаженні формально визначається ємністю акумуляторних батарей, у фактичних енергосистемах вона, як правило, зростає завдяки наявності надлишкового резерву та ступінчастому характеру ряду номінальних потужностей обладнання.

2.2 Основні принципи побудови систем безперебійного електропостачання лікувального закладу

Наступним чином, підхід до проектування та спорудження СБЕ та планування його конструкції залежить в основному від вимог до надійності роботи, а також кількості фідерів та необхідної потужності.

В основному найчастіше використовуються дві основні структури:

- розподілена (живлення здійснюється від окремих ДБЖ) (рис. 2.1);
- централізована (живлення здійснюється від одного потужного ДБЖ) (рис. 2.2). [8]

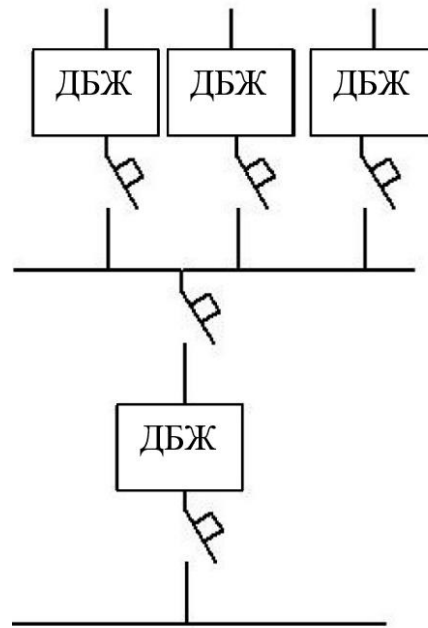


Рисунок 2.1 – Розподілена СБЕ.

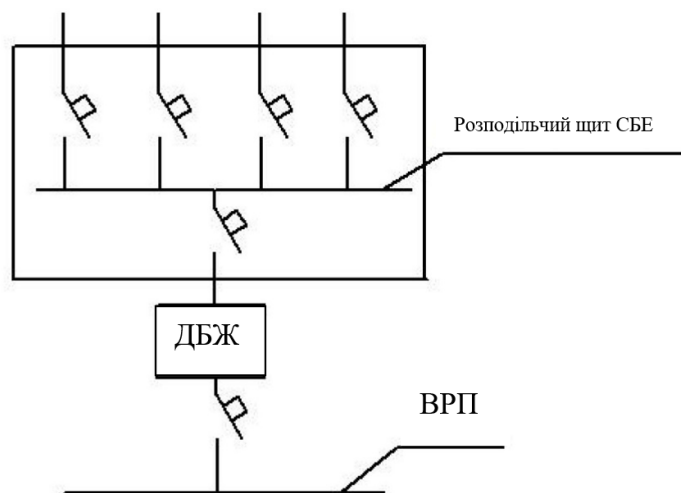


Рисунок 2.2 – Централізована СБЕ.

Серед переваг розподіленої системи є її відносна простота впровадження (зокрема, можливість підключення малопотужних ДБЖ безпосередньо до розеток у приміщенні), зручність налаштування, і можливість локального відключення окремих елементів для заміни несправного обладнання без впливу на всю систему. Додатково слід відзначити спрощені вимоги до приміщень.

Водночас централізовані та розподілені системи безперебійного електроживлення характеризуються низкою спільних ознак.

Розподілена система, поряд із перевагами, має і низку обмежень, які доцільно враховувати. Зокрема, внаслідок того, що певні джерела безперебійного живлення (ДБЖ) не здатні забезпечити роботу на повному номінальному навантаженні, наявний енергетичний потенціал використовується не на повну. Крім того, тривалість безперебійної роботи для певних груп споживачів може відрізнятись, що ускладнює забезпечення рівномірності живлення.

Окрему увагу слід приділити питанням надійності в умовах зміни навантаження: у разі підключення додаткових споживачів або виникнення короткого замикання в мережі існує ризик того, що система не зможе забезпечити необхідну перевантажувальну здатність. Це може привести до нестабільної роботи або часткового відключення обладнання.

Нейтральний провідник зазвичай виконує функцію повернення струму від навантаження до джерела живлення. Водночас за певних умов у ньому можуть виникати струми, величина яких може перевищувати струми у фазних провідниках. Подібна ситуація здатна спричинити перевантаження нейтралі та негативно вплинути на електромагнітну сумісність системи в цілому.

Централізована СБЕ має низку відчутних переваг: ефективніше використовується потужність ДБЖ і ресурс батарей, система краще витримує перевантаження, а нейтральний провідник на ділянці до ДБЖ не зазнає додаткового навантаження. В автономному режимі вона зазвичай працює довше, оскільки дозволяє поступово зменшувати навантаження й зберігати живлення для критичних споживачів.

Втім, є і суттєвий мінус: система сильно залежить від ДБЖ і мережі безперебійного живлення. Якщо один із цих елементів виходить з ладу, це може зупинити роботу всієї системи. Саме тому на практиці частіше застосовують комбінований підхід, поєднуючи централізовану і розподілену схеми (рис. 2.3).

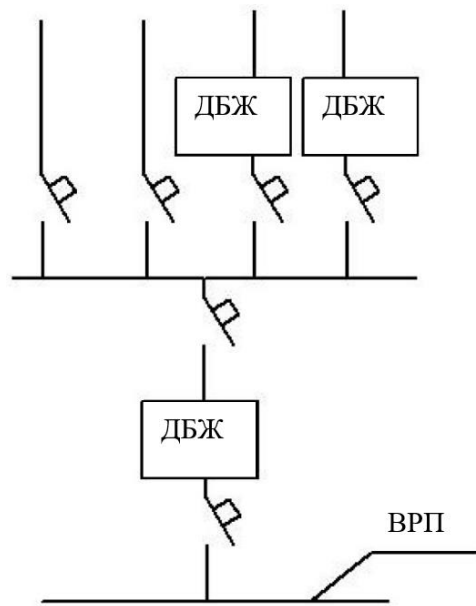


Рисунок 2.3 – Двохрівнева система безперебійного електропостачання.

Надійність системи - це комплекс заходів, які забезпечують загальне збереження режиму роботи навіть у тому випадку, коли з ладу вийшла частина елементів. Сюди також входить легкість пошуку та заміни цих елементів для відновлення повної працездатності системи.

Система безперебійного електроживлення характеризується підвищеною надійністю, що забезпечується принципом «N+1», що передбачає дворівневу організацію електропостачання та наявність резервних потужностей у складі комплексу джерел безперебійного живлення. Задля гарантування безперервності функціонування у випадку виходу з ладу окремих елементів, ключові складові системи підлягають обов'язковому резервуванню.

Зокрема, у разі відмови одного з трифазних джерел безперебійного живлення, що працюють у паралельному режимі, інші пристрої комплексу забезпечують подальше стабільне функціонування системи (див. рис. 2.4). Кількість таких джерел визначається з урахуванням необхідності підтримання навантаження навіть за умов часткової несправності обладнання, відповідно до принципів надлишкової паралельної архітектури (RPA - Redundant Parallel Architecture) [9].

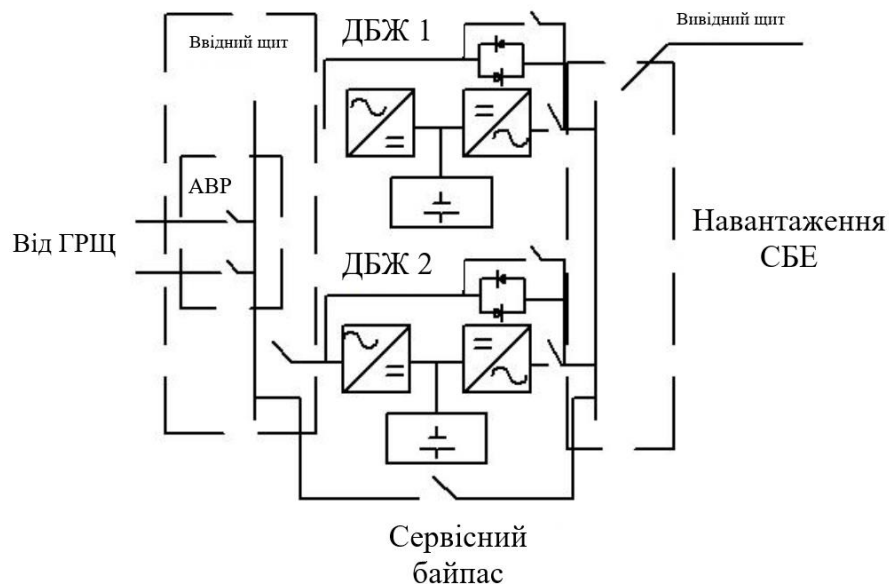


Рисунок 2.4 – Паралельний комплекс джерела безперебійного живлення

Таким чином ми отримуємо два підходи до будівництва паралельного комплексу:

1. Централізований.

З урахуванням всієї потужності комплексу створюється статичний перемикач обхідного кола байпаса (об'єднувального блоку).

2. Модульний (децентралізований).

Як зрозуміло з назви, така схема створюється без об'єднувального блоку, і таким чином ми можемо практично необмежено додавати нові ДБЖ, укрупнюючи комплекс.

На сьогодні другий метод використовується найчастіше [9].

Система керування побудована на основі ідеї про відсутність єдиного центру управління, що виключає залежність як від централізованої, так і від модульної ієрархії контролю. Функції синхронізації роботи паралельного комплексу джерел безперебійного живлення (ДБЖ) реалізуються окремими керувальними блоками, кожен із яких підлягає заміні аналогом без впливу на загальну працездатність системи, що підвищує її експлуатаційну надійність. Тобто у разі відмови будь-якого компонента передбачена можливість оперативної заміни або відновлення без зупинки роботи. Завдяки цьому

паралельна модульна конфігурація без об'єднувального блоку, із резервуванням шини керування, широко застосовується на практиці та розглядається як один із пріоритетних варіантів, зокрема для лікарень [9].

Окрім паралельної конфігурації системи безперебійного електроживлення, можна застосувати і послідовну схему. В цьому випадку резервування робиться шляхом підключення додаткового джерела безперебійного живлення (ДБЖ) до входу байпасної лінії (див. рис. 2.5). При цьому резервне обладнання перебуває у ввімкненому стані, однак безпосередньої участі в робочому процесі не бере до моменту виникнення відмови основного елемента.

Застосування послідовного підходу буде добрим в умовах, коли реалізація паралельної централізованої системи є технічно неможливою або складною, зокрема через обмежений простір. У таких випадках можна розмістити джерела безперебійного живлення у компактних, не спеціалізованих приміщеннях, наприклад, у окремих приміщеннях будівель лікарні, що зумовлює вибір саме послідовної схеми організації системи.

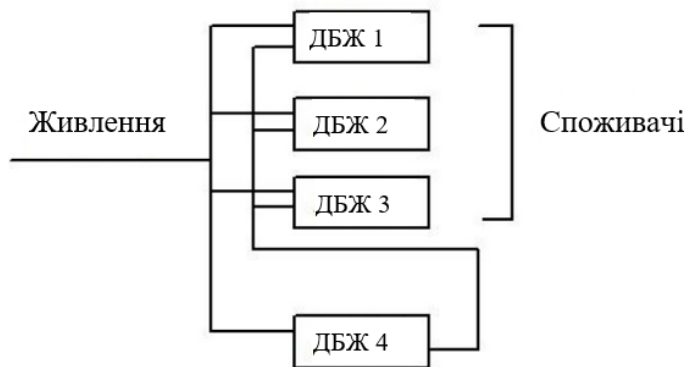


Рисунок 2.5 – Електрична схема системи безперебійного електроживлення у режимі роботи bypass

СБЕ у режимі роботи bypass володіє низкою значних переваг перед схемою паралельного комплексу джерел безперебійного живлення (ДБЖ).

На рис. 2.6 представлено структурну схему послідовного «гарячого резерву», яка історично розглядається як попередник відмовостійких рішень. Водночас зараз такі конфігурації швидко втрачають актуальність у зв'язку з

впровадженням систем типу RPA, а також через наявність низки експлуатаційних обмежень, що не притаманні паралельним архітектурам.

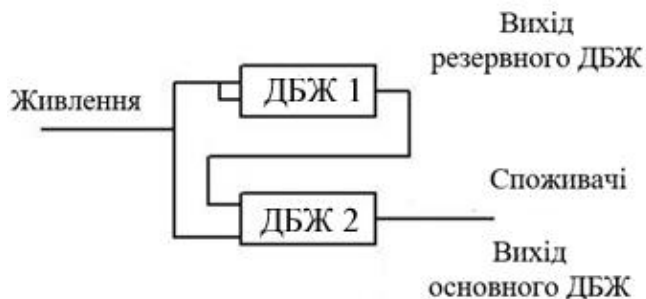


Рисунок 2.6 – Схема з'єднання «гарячого резерву»

Проектування лікувальних закладів зокрема передбачає низку вимог: «Медичні установи необхідно забезпечувати аварійними джерелами електроживлення, які дозволяли 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 спрацювання комутаційних апаратів та запобігання хибним спрацюванням» [10].

Системи безперебійного живлення електроенергією класифікуються за швидкістю і часом перемикання:

- **системи з часом перемикання до 0,5 секунди.** У лікарні вони забезпечують безперервність освітлення під час проведення операційних втручань; тривалість автономного живлення, як правило, має перевищувати 3 години;
- **системи, час спрацювання яких перебуває в межах від 0,5 до 15 секунд.** В медичній установі такі рішення застосовуються для підтримання функціонування аварійного освітлення, ліфтового обладнання, систем димовидалення, подачі медичних газів, введення анестезії, а також систем

інформування про пожежну небезпеку та гасіння пожеж. Час автономної роботи до 24 годин, однак у окремих випадках може бути скорочена приблизно до 3 годин за умови, що цього часу достатньо для завершення невідкладних процедур і проведення евакуації;

- **системи з часом перемикання понад 15 секунд.** Вони призначені для живлення допоміжного устаткування, яке не входить до переліку критично важливих, зокрема стерилізаційних установок, кліматичних систем, холодильного обладнання та зарядних пристроїв. Мінімальна тривалість автономного функціонування таких систем зазвичай 24 години.

У разі відмови основного джерела електроживлення функцію освітлення перебирає на себе аварійна система. Важливо, щоб вона спрацьовувала впродовж 15 секунд після зникнення напруги, бо саме цей проміжок часу визначальний для безпеки подальших дій персоналу та пацієнтів: аварійне освітлення забезпечує видимість евакуаційних шляхів і виходів, підтримує роботу ключового електрообладнання (зокрема генераторів), а також дозволяє контролювати інші важливі зони медичного закладу в умовах нештатної ситуації.

Система аварійного електропостачання має перемикатися на резервне джерело не більш ніж за 15 секунд після зникнення основного живлення. Як резерв зазвичай використовують або другий ввід від іншого трансформатора підстанції, або ДБЖ. інші варіанти практично не підходять через занадто довгий час запуску: наприклад, дизель-генератор у режимі «гарячого резерву» потребує приблизно 1–1,5 хвилини, щоб вийти на стабільну роботу (його необхідно прогрівати, аби запобігти глушенню).

З урахуванням всього вище сказаного в медичних закладах варто застосовувати паралельні та дворівневі (надлишкові) схеми СБЕ. Другий рівень призначений для найкритичнішого обладнання - операційних, реанімації та палат інтенсивної терапії, де переривання живлення неприпустиме навіть на короткий час.

2.3 Система гарантованого електропостачання

Запасна аварійна система називається Системою гарантованого електропостачання (СГЕ). Її основною задачею є забезпечення роботи електромережі у випадку виходу з ладу основних джерел живлення.

В системі гарантованого електропостачання зазвичай застосовуються дизель-генераторні установки (ДГУ) у складі дизель-електричних станцій (ДЕС). На етапі їх запуску живлення електроприймачів особливої групи першої категорії надійності відбувається за рахунок акумуляторних батарей джерел безперебійного живлення (ДБЖ).

Принцип взаємодії систем СБЕ та СГЕ в умовах аварійного відключення та подальшого відновлення електропостачання ілюструється на рис. 2.7.

Функціонування комплексу СБЕ–СГЕ розпочинається з моменту втрати основного джерела живлення, після чого навантаження оперативно переходить на джерела безперебійного живлення. Одночасно здійснюється запуск дизель-генераторної установки, яка протягом 2 хвилин виходить на номінальний режим роботи. Після цього система здійснює автоматичне перемикання на заживлення від ДГУ, що дозволяє відновити подачу електроенергії в повному обсязі. У такому режимі ДГУ забезпечує живлення ДБЖ, які, у свою чергу, переходять до підзарядки акумуляторів і підтримання їх у робочому стані.

В момент відновлення роботи основного живлення, фідери переходять на СЗЕ, і робота ДГУ тимчасово зупиняється до наступного збою роботи електромереж.

Тривалість автономної роботи обох систем визначається різними факторами: для СГЕ це запас пального (об'єм баків), а для СБЕ - ємність акумуляторів.

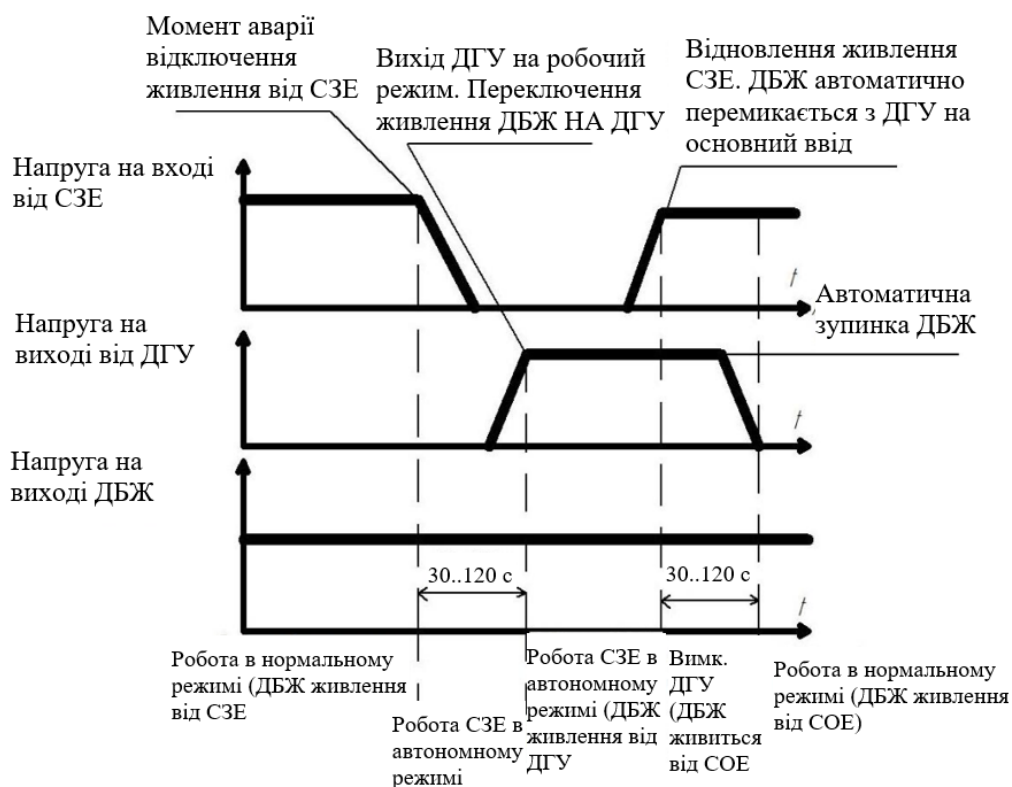


Рисунок 2.7 – Діаграма часу роботи комплексу СБЕ-СГЕ

На етапі створення проєкту СГЕ зазвичай передбачають окрему секцію шин напругою 0,4 кВ призначені для користування споживачів першої та другої категорій. Це дозволяє точніше розподілити навантаження, зменшити необхідну потужність генераторів і загалом зробити систему більш стійкою до відмов.

Сформулюємо основні умови застосування системи гарантованого електропостачання (СГЕ) з урахуванням вимог до надійності:

- автоматизована дизель-генераторна установка використовується як резервне джерело за умови, що схема автоматичного введення резерву (АВР) це допускає. При цьому необхідно виключити одночасну роботу незалежних джерел на спільні шини, забезпечивши як електричне, так і механічне блокування комутаційних пристроїв;
- за наявності джерел безперебійного живлення (ДБЖ) вимоги до швидкості перемикавання резерву знижуються, бо короточасні провали напруги компенсуються за рахунок акумуляторів. У такому випадку ключову роль відіграє конфігурація та кількість фідерів;

- задля запобігання хибним спрацюванням АВР слід передбачати витримку часу перед перемиканням, оскільки в інколи напруга може самостійно відновитися до потрібного рівня;
- налаштування порогів спрацювання АВР на кожен із вводів варто виконувати з урахуванням допустимих діапазонів напруги як для АВР, так і для ДБЖ. Завдяки цьому можна коректно організувати взаємодію систем і забезпечити своєчасний перехід на резерв у разі стійкого відхилення параметрів живлення;
- узгодження параметрів АВР і ДБЖ дає змогу зменшити тривалість роботи від акумуляторів, своєчасно переводячи навантаження на резервні джерела;
- у складі АВР варто передбачити засоби індикації стану та можливість ручного керування для підвищення керованості системи;
- для електромеханічних АВР, виконаних на контакторах, раціонально є застосувати автоматичні вимикачі і перемикачі з електроприводом;
- з метою недопущення паралельного з'єднання незалежних вводів обов'язковим є використання механічного блокування.

2.4 Основні принципи побудови систем безперебійного електропостачання лікувального закладу

Система загального електропостачання (СЗЕ) являє собою сукупність електричних ліній, апаратури та технічних засобів, розташованих на ділянці від введення живильних мереж об'єкта до вхідних комутаційних пристроїв систем безперебійного (СБЕ) і гарантованого (СГЕ) електропостачання. Зазначені елементи забезпечують подачу електроенергії, а також виконують функції контролю та захисту мережі.

Водночас для повного розуміння структури енергопостачання об'єкта цього переліку недостатньо, оскільки одну із ключових ролей у системі відіграє трансформаторна підстанція (ТП). Саме вона забезпечує приймання

електроенергії від зовнішнього джерела та її подальший розподіл між споживачами. Як зовнішнє джерело, як правило, використовується понижувальна підстанція з рівнями напруги 10 кВ на високій стороні та 0,4 кВ на низькій, або відповідна шина з аналогічними параметрами. У випадку застосування генераторних установок із відповідними вихідними характеристиками подача електроенергії може здійснюватися без додаткового трансформування.

Система електропостачання оцінюється передусім за надійністю, яка визначається кількістю незалежних джерел і можливістю їх взаємного резервування. Категорія надійності впливає на спосіб і швидкість переходу на резерв: для першої категорії це відбувається автоматично при відхиленні напруги, для другої - за участю персоналу.

Для підвищення стійкості системи та якості електроенергії доцільно передбачати власне резервне джерело, зокрема генератор.

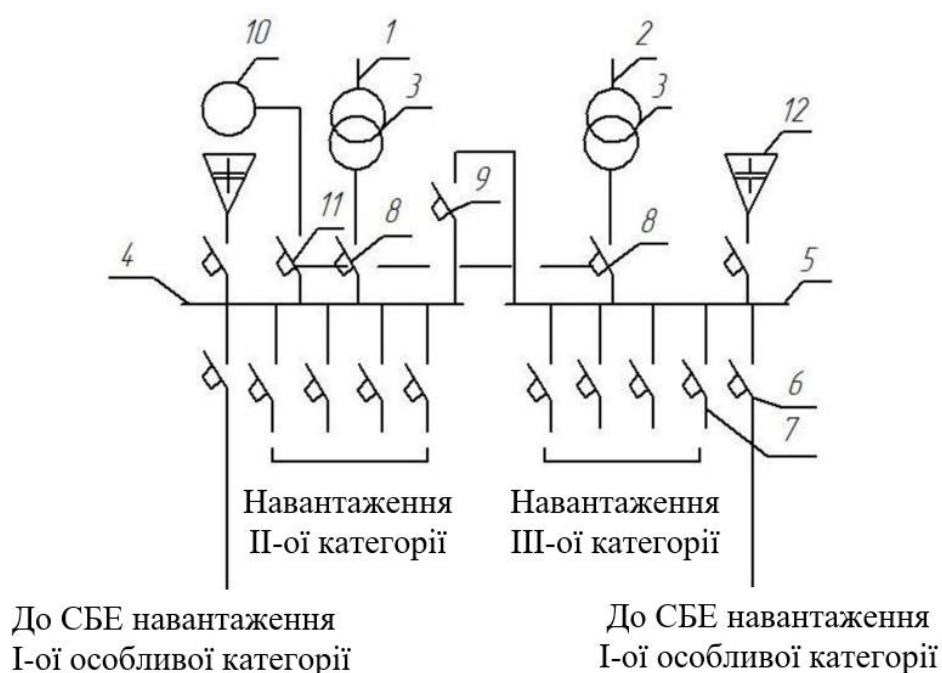


Рисунок 2.8 – Система електропостачання медичної установи

На рисунку 2.8 наведено схему системи зовнішнього електропостачання (СЗЕ) медичного закладу, до складу якої входить резервна дизельна електростанція (РДЕС). Для забезпечення живлення споживачів I та II категорій

надійності передбачено два незалежні джерела живлення (вводи 1 і 2), а також РДЕС 10, що працює через систему автоматичного ввімкнення резерву (АВР). Електропостачання споживачів III категорії здійснюється від двох незалежних вводів, обладнаних пристроями АВР. Електроенергія на секції 4 та 5 подається від високовольтних кабельних ліній 1 і 2 через відповідні трансформатори 3.

Головний розподільчий щит (ГРЩ) забезпечує автоматичне підключення резервних джерел живлення за допомогою вимикачів 8, 9 і 11, а також організовує живлення навантаження від РДЕС 10. Кожен вимикач оснащений інтелектуальним мікропроцесорним модулем, який забезпечує дистанційне керування та контроль основних електротехнічних параметрів. Ці модулі інтегровані в автоматизовану систему керування ГРЩ, що усуває необхідність використання окремого щита гарантованого електропостачання.

Система ГРЩ дозволяє здійснювати моніторинг і розподіл навантажень, контролювати роботу автоматичних пристроїв, відображати стан вимикачів та вимірювати струми навантаження на лініях 7. Крім того, вона запобігає одночасному підключенню потужних споживачів під час роботи резервної дизельної електростанції та блокує випадкове підключення фідерів інших категорій надійності, окрім I та II.

Використання ГРЩ підвищує ефективність роботи системи електропостачання, зменшує навантаження на її елементи та забезпечує можливість ручного керування автоматичними вимикачами. Система оснащена пристроями АВР на ввідних (8) та секційних (9) вимикачах. Автоматичне підключення дизель-генератора (11) реалізовано за допомогою автоматичних вимикачів із дистанційними приводами. Робота всіх автоматизованих елементів системи електропостачання координується промисловими контролерами, які керують алгоритмами відключення резервного джерела живлення та вихідних ліній генератора.

Секційний вимикач у схемі АВР працює за простою логікою резервування. У штатному режимі він, як і вимикач вводу від РДЕС, вимкнений, тоді як вводи 0,4 кВ перебувають у роботі. У разі зникнення напруги або виходу її параметрів

за допустимі межі спрацьовує захист мінімальної напруги: проблемний ввід відключається, після чого автоматично вмикається секційний вимикач і забезпечує живлення з альтернативного джерела. Після відновлення напруги система повертається до нормальної схеми роботи.

У разі зникнення напруги або її виходу за допустимі межі робота АВР ДГУ відбувається за визначеною послідовністю:

1. насамперед активується коло РДЕС, у якому з'являється напруга як на вводі, так і в колах керування;
2. система автоматичного розвантаження поетапно відключає менш критичні споживачі: спочатку фідери ііі категорії (частина ліній 7), а під час запуску ДГУ - також частину навантаження іі категорії;
3. далі відбувається відключення вводів 8 і конденсаторних батарей 12, що необхідно для стабілізації режиму перед підключенням резервного джерела;
4. після цього виконується послідовне ввімкнення елементів системи: секційного вимикача 9, вводів РДЕС 11 та вимикачів 6 ліній 7 навантаження другої категорії. Включення здійснюється із затримками (не менше 15 секунд), щоб уникнути різких стрибків навантаження;
5. після виходу генератора на робочий режим оператор оцінює навантаження та визначає доцільний обсяг підключених споживачів;
6. при відновленні напруги на одному з основних вводів 8 система подає сигнал на зупинку ДГУ, відключає ввід РДЕС 11 і повертає живлення до штатної схеми. При цьому раніше відключені споживачі та конденсаторні батареї автоматично підключаються назад.

Контролери, що застосовуються в пристроях АВР секційного вимикача, мають широкий функціонал, однак їх ефективна робота можлива лише за дотримання визначених умов експлуатації та налаштування. У разі їх порушення система електропостачання може функціонувати некоректно або знижувати рівень надійності.

Для коректної роботи АВР секційного вимикача достатньо слідувати наступних умовам:

- на кожному із вводів головного розподільчого щита (ГРЩ) повинна зберігатись напруга, що забезпечує готовність системи до перемикання;
- АВР повинен спрацьовувати лише одноразово в межах однієї аварійної ситуації та не повторювати дії при відключенні ввідних або секційного вимикачів. Багаторазове ввімкнення при наявності несправності не допускається;
- після знеструмлення автоматичних вимикачів в схемах контролю напруги функціонування АВР має бути автоматично заблокована;
- необхідно дотримуватися встановлених часових параметрів: орієнтовно до 30 секунд на знеструмлення вимикачів вводів ГРЩ за відсутності напруги та близько 60 секунд на їх повторне ввімкнення після відновлення живлення;
- обов'язковою є справна робота системи сигналізації, зокрема позначення ручного режиму АВР та факту його спрацювання.

Завдяки застосуванню автоматичних вимикачів, що працюють за заданим алгоритмом керування, з'являється можливість реалізувати гарантоване електропостачання споживачів, підключених до будь-якої з ліній 7.

У масштабних об'єктах може виникати потреба в перегляді вимог до категорій надійності електропостачання окремих електроприймачів. Водночас у межах традиційної схеми електропостачання це, як правило, супроводжується необхідністю часткової модернізації або реорганізації існуючої системи.

2.5 Висновки до розділу 2

У цьому розділі узагальнено ключові підходи до розроблення систем безаварійного електропостачання медичної установи з урахуванням вимог безвідмовної та безперервної роботи об'єктів критичної інфраструктури.

Спроектовано узагальнену структуру електропостачання закладу, яка охоплює:

- систему безперебійного електропостачання;
- систему гарантованого електропостачання.

Окремо визначено перелік основних умов і вимог, що регламентують доцільність та особливості застосування системи гарантованого електропостачання в медичному середовищі.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

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

Проект забудови охоплює :

- стоматологічна клініка ;
- інженерна споруда котельні ;
- корпус акушерства та гінекології ;
- центральний корпус ;
- харчовий блок.

У даному списку зазначені не усі корпуси медичного закладу, а лише основні, які здійснюють споживання доволі великої кількості електричної енергії.

Для медичної установи вирізняють 2 класи напруги : НН (напруга 0,4 кВ) та ВН (напруга 10 кВ).

Для надання відповідної категорії надійності постачання електричної енергії достатньо змістити споживання з лінії «ЦРЛ-12» на «ЦРЛ-2» (обидві лінії - високої напруги).

Впродовж здійснення реконструкції медичної установи було прийнято рішення щодо зміщення навантаження на «ЦРЛ-2» з живильної лінії 10 кВ «ЦРЛ-12». Заради надання на об'єкті відповідного рівня надійності до використання було залучено фідер 10 кВ «ЦРЛ-2» із підстанції 110/10 кВ. З метою забезпечення надійності подачі електроенергії на фідерній лінії змонтовано відгалужувальну опору, укомплектовану роз'єднувальним пристроєм. Для коректної роботи при аварійному постачанні електричної енергії для використання обирали відгалуження іншого фідера, а саме «ЦРЛ-1» 10кВ. Варто зауважити, що із району житлової забудови з метою гарантування категорійної надійності електропостачання підстанції було демонтовано опори №130/1-130/8. Додатково було здійснено встановлення 2КТПГ - 400/10/0,4 двома силовими маслonaповненими трансформаторами типу ТМГ 400/10/0,4.

До елементів постачання електричної енергії, які використовуються у лікарня но-профілактичних закладах відносяться : -електроприймачі 0,4 кВ, які зазвичай розташовують в корпусах медичної установи, а також кабельні та повітряні лінії ; -дизель-генераторний агрегат з напругою живлення 380 В та потужністю 100 кВт.

Дизель-генераторна установка виступає як резервне джерело живлення, яке забезпечує живленням електроприймачі категорії підвищеної важливості, до прикладу котельню, головний корпус та корпус акушерства. Варто зауважити, що дана установка здійснює свою роботу незалежно від централізованого електропостачання. Окрім цього, у медичному закладі застосовується відгалуження комплектної трансформаторної підстанції об'єкта для електроживлення щита власних потреб дизель-генератора та щита керування дизель-генераторною установкою. У контейнері модульного типу розташований додатковий бак із паливом, об'ємом на 1000 літрів, дизель-генераторний агрегат, та ще певні системи, які гарантують забезпечення звичної життєдіяльності. Згідно таблиці 3.1 і 3.2 можна переглянути електроприймачі 0,4 кВ, які встановлені у центральному корпусі та розподілені згідно категорій надійності.

Таблиця 3.1 – Об'єкти електроспоживання корпусів А та Б класифіковано за категоріями надійності енергозабезпечення

Об'єкти електроспоживання	Категорія надійності
Прилади та установки, які розташовують у кімнатах персоналу та терапії та хірургічних відділеннях.	I (особлива)
Апарати та пристрої, які забезпечують роботу пожежної сигналізації, ліфтів, вентиляції та аварійного освітлення.	I
Усі електроприймачі, які знаходяться безпосередньо в медичному закладі.	II

Таблиця 3.2 – Електроприймачі, що розподілені згідно категорій надійності у корпусі В

Об'єкти електроспоживання	Категорія надійності
Прилади та установки, які здійснюють вентиляцію та повітряний обмін в корпусі, а також забезпечують роботу сигналізації пожежної безпеки та аварійного освітлення	І (особлива)
Електроприймачі, розташовані на території медичної установи	І

3.2 Розрахунок електричних навантажень на корпуси лікувального закладу

3.2.1 Повний розрахунок освітлення та обладнання корпусів лікувально-медичної установи

З метою розрахунку електричних навантажень у системах електропостачання застосовують метод відомий як «метод упорядкованих діаграм». Здійснення розрахунку здійснюється для основного корпусу із поглибленою характеристикою кожної категорії об'єктів електроспоживання, для решти корпусів використовують аналогічний метод. Електричне обладнання поділяють на дві категорії: Переносні медичні прилади – це такі, які можна перенести між приміщеннями з метою виконання лікувальних заходів. Стаціонарні медичні прилади – це прилади, використання, яких можливе лише у зазначеному місці. Кожна категорія характеризується електрообладнанням із вказаними технічними характеристиками.

Метод упорядкованих діаграм використовується для обчислення електричного навантаження різноманітних будівель . Цей метод передбачає класифікацію об'єктів електроспоживання на певні категорії та індивідуальний розрахунок для кожної категорії . Усі електроприлади будівлі поділені на декілька категорій:

портативні прилади (гаджети, вимірювальна техніка) та стаціонарні медичні прилади (томографи, УЗД).

Виконаємо розрахунок електричного навантаження для закладу охорони здоров'я

Активне навантаження:

$$P_p = P_z \cdot K_p = P_H \cdot K_m \cdot K_b$$

де P_z – активна потужність приймачів електричної енергії за зміну;

K_p – груповий параметр попиту;

P_H – загальна активна потужність електрообладнання ;

K_m – параметр максимуму ЕП;

K_b – коефіцієнт експлуатації ЕП.

Реактивне навантаження:

Об'єм ефективних електроприймачів становить $n_e \leq 10$

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_c = 1,1 \cdot P_H \cdot K_c \cdot \operatorname{tg}\varphi$$

Показник ефективних електроприймачів буде рівним $n_e \geq 10$

$$Q_p = Q_c = P_H \cdot K_c \cdot \operatorname{tg}\varphi$$

де Q_c – реактивна складова навантаження електроенергії за зміну;

$\operatorname{tg}\varphi$ – задовольняє груповий розрахунковий параметр потужності;

Повне навантаження:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$$

де P_p активне навантаження медичної установи ;

Q_p реактивне навантаження закладу охорони здоров'я.

З урахуванням того, що рентгенівський апарат споживає 1 кВт в режимі очікування і 5,8 кВт у режимі просвічування, розрахунок електричного навантаження виконується за режимом просвічування. Для здійснення обрахунку загального навантаження різноманітного силового обладнання використаємо формулу:

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

де $0,95$ - параметр, що враховує відмінність розрахункових максимумів основних груп силових електроспоживачів типових груп силових приймачів електричної енергії;

$P_{pc1}, P_{pc2}, \dots, P_{pcn}$ – розрахункові значення електричних навантажень основних категорій силових електроспоживачів.

Надалі виконується комплексний розрахунок системи електропостачання силового та освітлювального навантаження:

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

де K_{12} – це параметр, що визначає, якою мірою розрізняються розрахункові пікові значення навантаження силових електроприймачів і освітлювальних установок [11].

Визначення електричних навантажень виступає основною стадією у процесі проєктування систем електропостачання, що забезпечує визначення потрібної потужності для обладнання, що буде забезпечувати роботу об'єкту. При проведенні розрахунків необхідно враховувати особливості функціонування, технічні характеристики та можливі режими роботи електроприладів. Точність розрахунку – це основний критерій для гарантування безпеки та безперебійного функціонування системи електропостачання.

Здійснивши повне обрахування електричних навантажень в установі охорони здоров'я отримані дані фіксуємо у таблиці. Таблиця 3.3 ілюструє підсумки комплексного розрахунку навантажень для медичного закладу. З метою отримання детальнішої інформації щодо розподілу навантаження виконують розрахунки для кожного блоку лікарні. Детальний розрахунок навантажень для поліклінічного відділення (блок В) та головного стаціонарного об'єкту (блоки А, Б) зазначені в таблицях А.1 та Б.1 співвідносно (додаток А, Б).

Таблиця 3.3 –Повний розрахунок електричних навантажень в установі охорони здоров'я (корпуси А, Б та В)

Найменування ЕП (або їх груп)	Загальна кількість усіх ЕП, шт	Номінальна потужність ЕП, $P_{НОМ}$ кВт.	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	K_C	Потужність (активна, реактивна, повна)		
						S_P , кВА	Q_P , кВАр	P_P , кВт
Корпус (А та Б)	1497	413,5	0,88	0,71	0,44	185,39	101,3	156,5
Корпус (В)	498	68,627	0,92	0,43	0,52	38,47	15,07	35,39
СУМАРНО по корпусах (А, Б, В)	1995	482,127	0,89	0,61	0,48	223,86	116,37	191,89
Комірка ДГУ (для внутрішніх потреб)	-	3	0,81	0,78	0,65	2,8	1,4	2,5
Котельня	3	34	0,9	0,8	1	87,5	38,14	76,59
Поточні електричні навантаження	-	356,7	0,75	0,65	0,7	244,9	155,7	199,2
Установки зовнішнього освітлення	59	11	0,86	0,74	1	11,35	5,78	9,12
Пологове відділення	599	356,7	0,79	0,64	0,55	225,63	129,7	185,7
Разом	2656	1243,5	0,84	0,65	0,52	709,8	401,7	617,2

3.2.2 Повний розрахунок штучного освітлення

В головній будівлі застосовуються різноманітні види освітлювальних приладів для забезпечення світлом приміщень різного функціонального призначення. Для освітлення головних кімнат використовуються джерела світла з пристроями компенсації реактивної складової потужності (люмінесцентні світильники, оснащені пускорегулювальним обладнанням). У санітарно-гігієнічних вузлах змонтовані стандартні люмінесцентні лампи. Допоміжні приміщення медичної установи обладнані найпростішими освітлювальними елементами — лампами розжарювання. Крім того, передбачено встановлення сигнальних покажчиків для надзвичайних випадків, світлових табло «Вихід» та вказівників напрямку евакуації. Підсвічування цих інформаційних знаків здійснюється спеціалізованими лампами, які належать до системи аварійного освітлення. Визначення параметрів штучного освітлення виконується з

допомогою коефіцієнта використання світлового потоку з урахуванням встановлених нормативів освітленості, передбачених для закладів охорони здоров'я. [12] Під час проєктування освітлювальні установки першого поверху відділення поліклініки (блок В) були використані нормативні таблиці та методичні рекомендації щодо організації штучного освітлення в закладах охорони здоров'я [12].

Реєстратура

Здійснимо визначення потрібної кількості світильників для даного приміщення та підберемо оптимальне світлотехнічне обладнання, яке забезпечить необхідний рівень освітленості відповідно до чинних вимог.

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{n \cdot \eta \cdot \Phi_{\text{Л}}}$$

де N – кількості світлотехнічного обладнання;

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

B – 1 м вище підлоги;

S – площа об'єкту, м^2 ;

K_3 – параметр запасу (табл. 3.4);

n – число ламп, встановлених в одному світлотехнічному приладі;

η – параметр використання;

$\Phi_{\text{Л}}$ – світловий потік джерела світла, Лм.

Для встановлення використаємо світильники торгової марки *Basic* виробника "OSRAM".

Таблиця 3.4 – Індекс K_3 щодо різних споруд

Назва	K_3
Низький рівень забруднення та короткий час користування установки	1,3
Слабке забруднення	1,5
Середнє забруднення	1,8
Сильне забруднення	2

Для даного випадку використаємо $K_3 = 1,5$

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

де H – висота об'єкту, $H = 2,8$ м;

h_p – висота поверхні розрахунку $h_p = 1,0$ 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 – Показник K_3 відносно матеріалів, що відрізняються за кольором

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

Таблиця 3.6 – Коефіцієнт використання

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

Для даної ситуації підходять дані з таблиці 3.5:

$$\rho_{стелі} = 70;$$

$$\rho_{стін} = 50;$$

$$\rho_{підлоги} = 30.$$

Для цього випадку використаємо дані з таблиці 3.6:

$$\eta = 0,35.$$

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

Виконання розрахунку потужності освітлення:

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

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

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

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

3.3 Встановлення силових трансформаторів з компенсацією реактивної потужності

Під час розроблення рішення передбачено інсталяція силових трансформаторів типу ТМГ. На відміну від трансформаторів із розширювальними баками, вони не потребують технічного супроводу впродовж усього циклу експлуатації, а також проведення лабораторного контролю оливи, відбору проб, її регенерації чи виконання ревізій. Для покращення охолодження у герметичних трансформаторах застосовуються гофровані стінки бака, що збільшують площу тепловіддачі. Існуюче обладнання підлягає демонтажу, оскільки воно вичерпало експлуатаційний ресурс і не забезпечує необхідну категорію надійності електропостачання через зростання електричних навантажень.

Вихідні дані:

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

Для подальшого розгляду за основу оберемо силовий трансформатор типу ТМГ з номінальною потужністю, яка дорівнює 400кВА. Виконаємо розрахунок необхідної кількості силових трансформаторів з метою забезпечення

безперервного електропостачання медичної установи. Наступним кроком порахуємо за наступною формулою потрібну кількість силових трансформаторів для безперебійного постачання електроенергії медичного закладу.

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

де κ_3 буде коефіцієнтом завантаженості силового трансформатора. Таким чином ми визначили потребу у двох трансформаторах заданої потужності 400 кВА. Основні технічні характеристики трансформатора ТМГ-400, які ми використаємо у обрахунках, наступні:

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

Наступним кроком ми порахуємо електричні втрати в зазначених силових трансформаторах, т.з. активні та реактивні втрати:

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

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

Також необхідно порахувати електричні навантаження для медичного закладу, при цьому врахувавши попередньо обраховані активні та реактивні втрати у обраних силових трансформаторах:

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

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

Наступним кроком для зручності побудуємо графік визначених електричних навантажень обраного медичного закладу (рис. 3.1).

Річна крива електричних навантажень демонструє, як змінюється споживання електроенергії протягом року. Він використовується з метою організації роботи електросистеми та комплектування обладнання, оскільки відображає сезонні коливання і пікові навантаження. Також цей графік допомагає прогнозувати споживання, оцінювати економічну ефективність і визначати потребу в заходах підвищення енергоефективності. Водночас його вигляд може змінюватись відповідно до типу об'єкта та експлуатаційних умов.

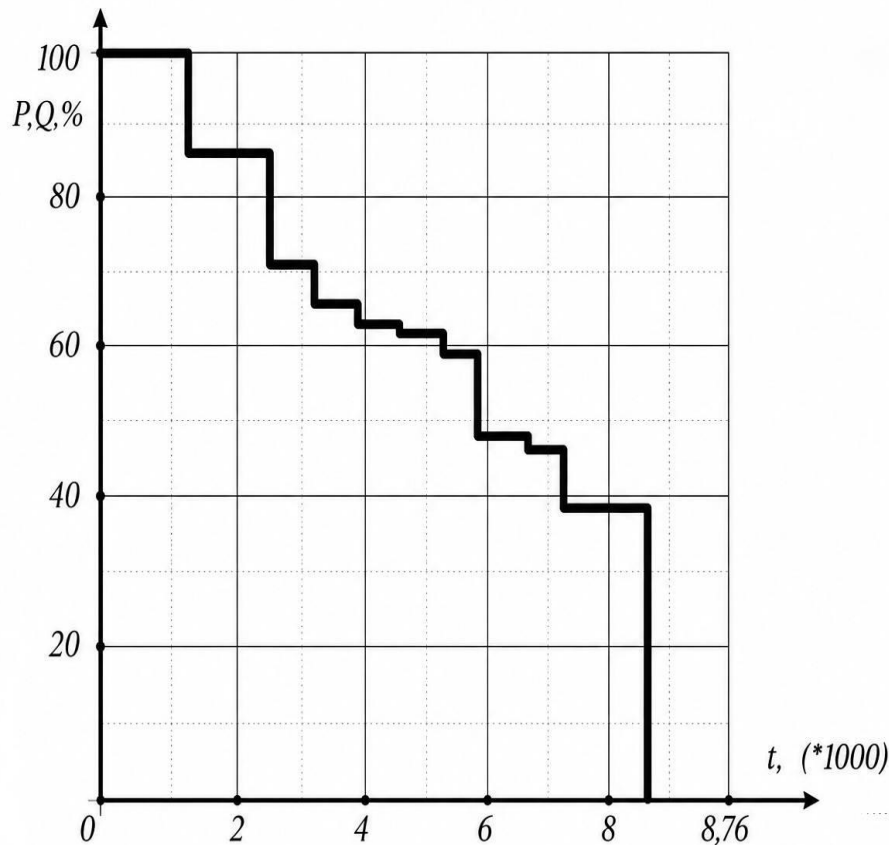


Рисунок 3.1 – Графік навантажень (споживання впродовж року) обраного медичного закладу.

Далі розглянемо методику визначення компенсації реактивної потужності з метою оптимізації електропостачання цього закладу.

Спершу визначаємо реактивну потужність у години максимального навантаження:

$$Q'_{e1} = Q_p - 0,9 \cdot Q_{CD} = 386,22 \text{ кВАр};$$

$$Q''_{e1} = \alpha - P_p = 0,28 \cdot 553,05 = 154,854 \text{ кВАр};$$

де Q_p – є розрахунковою реактивна потужність;

Q_{CD} – є розрахунковою потужністю синхронних двигунів.

Оскільки в години пікових навантажень напруга в енергетичній системі знижується, необхідно обрати відповідне Q''_{e1} .

Таким чином, визначаємо реактивну потужність у години мінімального споживання:

$$Q_{e2}'' = QK_{min}$$

$$Q_{e0}'' = QKD(Q_p - Q_{e1})(386,22 - 154,854)_{min_{min}}$$

де Q_{min} - є реактивною потужністю у час мінімальних навантажень;

Q_K - реактивною потужністю конденсаторної установки;

Оскільки в час найнижчого навантаження напруга в електроенергетичній системі підвищується, необхідно обрати відповідне Q_{e2}'' .

$$Q_{e2}'' = 159,35 \text{ кВАр.}$$

Далі рахуємо максимальну та найменшу реактивну потужність для вибраних компенсуючих пристроїв:

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

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

Наступним кроком визначаємо величину реактивної потужності, яку достатньо перенести з ВН до НН (не враховуючи компенсацію):

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

Маючи основну величину реактивної потужності, можемо виконати розрахунок фактичного значення реактивної потужності, що передається з боку ВН до НН:

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot k_3 \cdot S_{н.м})^2 - P_{p\Sigma}^2} = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 400)^2 - 546^2} = 124,43 \text{ кВАр.}$$

Звідси можемо визначити потужність компенсаторної установки з боку НН:

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

і на боці ВН:

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

Розглядаючи НН доцільно встановити батареї конденсаторів, тоді як на стороні ВН їх застосування є економічно невиправданим. За умови рівномірного розподілу реактивної потужності обираємо компенсувальні установки типу

КРМ-УЗ. Передбачається встановлення двох установок на стороні НН з номінальною напругою 0,4 кВ і повною потужністю $S = 205$ кВА кожна. Таким чином ми можемо розрахувати необхідну потужність компенсуючої установки.

Наступним кроком ми можемо визначити на стороні низької напруги витрати на компенсуючий пристрій:

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

де E – зведений коефіцієнт капітальних вкладень, приймається рівним 0,223;

$K_{ку}$ – вартість однієї компенсуючої установки;

U – напруга у вузлі підключення блоку конденсаторів;

$U_{ку}$ – величина напруги в точці приєднання батареї конденсаторів; ;

C – тарифна вартість питомих втрат активної електричної потужності грн/кВт;

$P_{ку}$ – втрати активної потужності в компенсаційному обладнанні, кВт; кВт;

K_p – вартість регулювального пристрою конденсаторної батареї; ;

n – число встановлених компенсаційних установок.

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

$$K_{ку} = K_y \cdot Q$$

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

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

де $C \cdot \Delta P_T$ – значення збитків від втрат у комплектно-трансформаторних підстанціях силових трансформаторів, грн;

C_0 – величина вартості P_{xx} для силового трансформатора грн/кВт;

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

де τ – часовий діапазон максимальних втрат, год,

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

де $T_m = 2700$ год, час використання максимального навантаження за рік;

$T_p = 8760$ год, час роботи трансформатора за рік;

C_m – величина, яка відображає кількість збитків від активних втрат (навантаження), $\text{грн/кВт} \cdot \text{год}$;

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

де C_G – вартість електричної енергії за 1 стандартний рік з урахуванням ПДВ, грн;

W_p – електроенергія, яка надається, $\text{кВт} \cdot \text{год}$.

Далі розрахуємо витрати для комплектної трансформаторної підстанції:

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

де $K_{ТП}$ – ціна КТП, тис. грн.

Узагальнений розрахунок витрат на комплектну трансформаторну підстанцію та засоби компенсації реактивної потужності:

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

Усі розрахунки наведені у таблиці Г.1 у додатку Г. Після здійсненого аналізу вирішено було обрати варіант з двома силовими трансформаторами типу ТМГ400/10/0,4 кВ.

3.4 Встановлення джерел безперебійного живлення (ДБЖ)

Під час вибору та розрахунку потужності джерела безперебійного живлення враховують низку ключових параметрів, які використовуються в подальших обчисленнях. До них належать потужність і характер навантаження, необхідна тривалість автономної роботи, а також вимоги до рівня надійності системи. Для зіставлення різних класів ДБЖ подається узагальнена довідкова інформація (табл. 3.8).

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

Параметри	3	2	1
Повна потужність, <i>кВА</i>	Межі обмежень відсутні	< 5	<2
Робочий діапазон живлення від акумуляторів	120-300 хв.	90 хв.	5 хв.
Тип вихідного сигналу ДБЖ	Синусоїдальна	Синусоїдальна	Трапецеїдальна
Стійкість до впливу перешкод	Maximum	Medium	Weak
Стабілізатор U та f	Можливий	Відсутні	Відсутні

Під час вибору джерел безперебійного живлення, що працюють у режимі *on-line* (тобто забезпечують безперервне живлення навантаження без перемикань), доцільно скористатися оглядом моделей ДБЖ із відповідним принципом роботи [13]. Результати вказано в табл. 3.9.

Згідно з даними таблиці 3.9, для використання в системі безперебійного електроживлення лікувального закладу найбільш доцільними є ДБЖ із подвійним перетворенням електроенергії. У разі паралельного підключення кількох пристроїв слід враховувати, що при виході з ладу одного з них, усі інші повинні мати достатній резерв потужності для забезпечення повного навантаження. З цією метою застосовується принцип резервування $N+1$, де N — це кількість ДБЖ, здатних підтримувати роботу системи у випадку відмови одного елемента. Водночас експлуатація обладнання при 100% завантаженні є недоцільною, оскільки в такому режимі знижується перевантажувальна здатність і можливе виникнення спотворень на вході при зміні навантаження, що має негативний вплив на ефективну роботу. Для забезпечення стабільної та раціональної експлуатації кожен ДБЖ рекомендується навантажувати так, щоб не було перевищено 75% від номінальної потужності. Відповідно, коефіцієнт K_i , який грає ключову роль в обрахунку максимально допустимої частки

підключеного навантаження, приймається рівним 0,75 і не може перевищувати цього значення.

Таблиця 3.9 – Параметри ДБЖ в режимі on-line

Різновид ДБЖ	ДБЖ з комутацією	ДБЖ, Взаємодія з мережею	ДБЖ ферорезонансний	ДБЖ з 2-ним перетворенням енергії	
				3ф	1ф
Убезпечення від дії високої напруги	++	++	++++	+++++	+++++
Перерва напруги під час переходу з електромережі на батарею	+	+	+++++	+++++	+++++
Довготривале функціонування	-	++	+++	++++	+++
Нейтралізація коливань напруги	-	+	++++	++++	++++
Здатність до синхронного функціонування	-	-	-	++++	-
Фільтрація електромагнітних та високочастотних перешкод	+	+	++++		
Рівень енергоживлення за сприятливих обставин	++++	+++	+++++	++++	++++
Надійність подачі струму в несприятливому середовищі	++	+	+++++	+++	++
Захист електрообладнання за нормальних умов	++	+++	++++	+++++	+++++
Захист устакунання за несприятливих умов	+	+	++++	+++	++

Таким чином, ми можемо здійснити співвідношення паспортної потужності ДБЖ до його розрахункової потужності:

$$S_{ДБЖ} = \frac{S_p}{K_{вик}}$$

де $S_{ДБЖ}$ – повна паспортна потужність ДБЖ, кВА;

S_p – розрахункова потужність повна, *кВА*;

$K_{вук}$ – інтегральний показник ефективності використання ДБЖ.

Детальніше обчислення навантажень СБЕ вказано у таблиці Г.1 (додаток Г).

3.5 Вибір типу та розрахунок потужності дизельної електростанції (ДЕС)

За наступною формулою ми можемо визначити потужність дизельної електростанції, яка працюватиме у в системі «ДЕС ДБЖ»:

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

де $S_{ДЕС}$ – потужність ДЕС з турбонадувом, за умови плавного переведення потужності з ДБЖ на ДЕС, *кВА*;

S_I – це потужність споживачів першої категорії, *кВА*;

S_{II} – це потужність споживачів II категорії, *кВА*.

Далі ми розраховуємо з урахуванням ККД джерел безперебійного живлення потужність для споживачів I категорії S_I обчислюється зважаючи на ККД ДБЖ, від якого здійснення живлення 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 $S_{\Sigma n}$ – це є сумарною розрахунковою потужністю споживачів I категорії, що живляться від ДБЖ, *кВА*;

η_n – ККД вказаних ДБЖ.

Отже, ми вибираємо ДГУ потужністю 100 *кВА* — FG Wilson P110-2.

Результати повного розрахунку наведені в кінці документу у таблиці Д.1 (Додаток Д).

3.6 Повний розрахунок струмів КЗ

3.6.1 Повний розрахунок струмів КЗ на стороні вище 1кВ

У ході розроблення проєкту системи електропостачання необхідно виконати обчислення струмів короткого замикання. Це дає змогу обґрунтовано підібрати обладнання, здатне витримувати аварійні режими, а також обґрунтувати доцільність використання заземлювальних пристроїв і розрядників. Розрахунки здійснюються за методикою, наведеною в [14]. У даній роботі розглядається фідер «ЦРЛ-2». Розрахунок виконано для найбільш несприятливого режиму — трифазного короткого замикання зі струмом 4244 А. Мінімальна величина трифазного струму КЗ для даного фідера становить 3700 А. За аналогічною схемою виконано розрахунки для інших фідерів, а отримані результати узагальнено в таблиці Е.1 (див. Додаток Е).

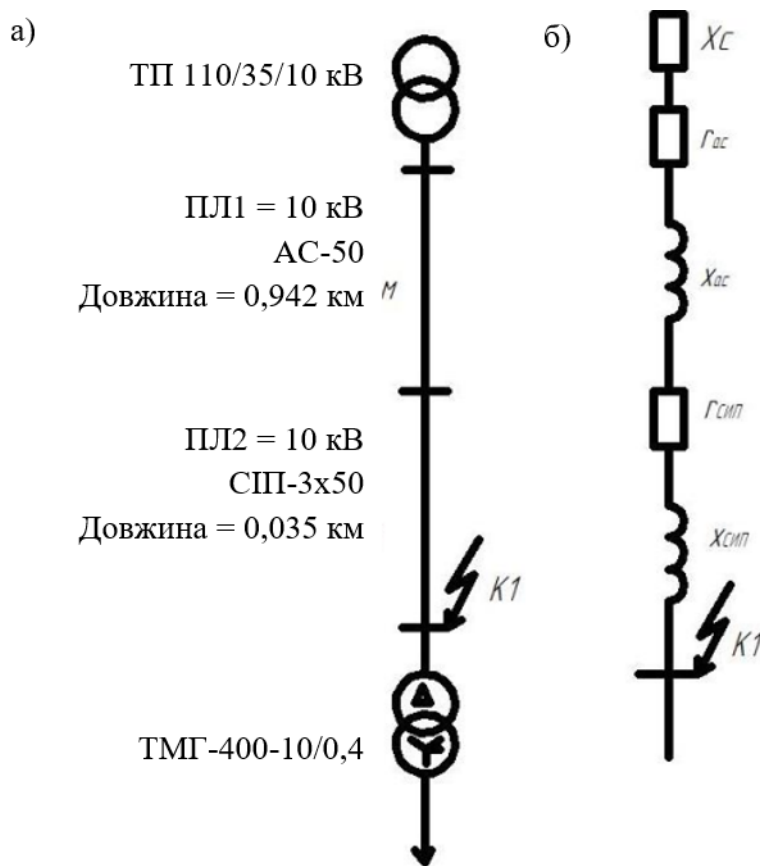


Рисунок – 3.2 Схема заміщення з боку ВН та схема розрахунку.

Надалі здійснюємо розрахунок бажаних параметрів для вибраної схеми заміщення.

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

де U – напруга обраної системи, кВ ;

$I_{max\text{кз}}^{(3)}$ – значення трифазного струму КЗ на струмоведучих частинах знижувального електросилового пункту малого вольтажу ;

Параметри лінії визначимо наступним чином :

$$r = r_0 \cdot l,$$

$$x = x_0 \cdot l,$$

де r_0 – задане паспортне значення для активного питомого опору лінії, ом/км ;

x_0 – показник питомого індуктивного опору лінії, ом/км ;

l – протяжність лінії, км .

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

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

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

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

Тепер здійснимо обчислення повного опору у точці КЗ (точка К1):

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

Порахуємо струм короткого замикання на стороні НН:

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

Тепер здійснюємо обчислення ударного струму КЗ за формулою :

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

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

Як підсумок розраховуємо повну трифазну потужність нашої КЗ системи:

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

3.6.2 Повний розрахунок струмів КЗ на стороні НН

Перш ніж виконувати розрахунок кабельних ліній, доцільно визначити склад основного обладнання системи: обрати трансформатори струму вимірювального призначення, апарати комутації, та живильні лінії. Це дає можливість встановити значення струмів короткого замикання, що протікатимуть у мережі, а також відповідні номінальні струми й напруги, необхідні для коректного підбору кабельних ліній і обладнання.

Розрахунок для основних ліній електропостачання.

За наступними формулами розраховуємо струм і лінії живлення за звичного режиму I_p та аварійного режиму I_{AB} :

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

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

де I_p – базовий струм розрахунку для штатного функціонування енергосистеми, A ;

I_{AB} – критичний струм розрахунку за умов аварійної ситуації, A ;

$S_{p.k}$ – базова розрахункова потужність в штатних умовах експлуатації мережі, kVA ;

S_p – максимальна потужність розрахунку для позаштатного (аварійного) стану системи, kVA .

За наведеними формулами проводимо розрахунки сил струму для вводу №1 і №2 на внутрішньому розподільному пристрої:

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

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

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

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

$$I'_{\text{доп}} \geq \frac{I_{AB}}{\kappa_{AB} \cdot n_{\kappa} \cdot \kappa_{II} \cdot \kappa_t},$$

де κ_{AB} – значення навантаження в момент максимального електричного навантаження в проміжку < 6 годин на добу впродовж п'яти діб, [14];

κ_{II} – параметр розміщення провідників кабелю;

κ_t – величина, що відповідає температурі довкілля, у місці прокладання провідника (кабель).

n_{κ} – кількість прокладених паралельно провідників.

Таким чином, маючи розраховані показники сили струму, ми можемо необхідний нам у даному випадку поперечний переріз провідника, що, в свою чергу, повинен задовольняти вимогу:

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

На основі розрахунків струму обираємо необхідний поперечний переріз провідника, який має відповідати вимогам:

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

де $I_{\text{доп}}$ - це обчислене нами значення максимально допустимого тривалого струму [14].

Далі обчислюємо спад напруги в обраному провіднику, в якості якого виступає кабель:

ΔU для вводу №1 – №2 на внутрішньому розподільчому пристрої :

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

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

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

Згідно отриманих результатів, обираємо провід марки АBBГ – 1,0.

Силове обладнання (розрахунок роз'єднувача на стороні НН)

Критерієм вибору силового роз'єднувача виступає зіставлення параметрів мережі з його номінальними характеристиками: напруга мережі порівнюється з номінальною напругою роз'єднувача, а робочий струм мережі — з його номінальним струмом. Таким чином, у нашому випадку ми маємо:

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

$$I_{ном.довг} \leq I_{ном}$$

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

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

Маючи результати розрахунку, ми бачимо, що у даному випадку найдоцільніше обрати силовий роз'єднувач типу "PE" зі значенням номінального струму 100А.

Розрахунок для вимірювального ТС (Трансформатора струму).

Умовою вибору вимірювального трансформатора струму є зіставлення параметрів мережі з його номінальними характеристиками: напруга мережі порівнюється з номінальною напругою трансформатора, а робочий струм мережі — з номінальним первинним струмом. Тож у даному випадку отримаємо наступні значення:

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

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

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

Струм у вторинній обвитці: 5 А.

Необхідний клас точності : 0,5 А.

За результатом наших обрахунків ми можемо обрати вимірювальний трансформатор струму ТШН, у якого згідно каталогу клас точності 0,5 та значення вторинного струму 5А.

Розрахунок для комутаційного апарату, автоматичних вимикачів №1 і №2 :

Умовою вибору комутаційного апарату (автоматичного вимикача) є зіставлення параметрів мережі з його номінальними характеристиками: напруга

мережі порівнюється з номінальною напругою апарата, а робочий струм мережі — з його номінальним струмом. Таким чином, маємо наступне:

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

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

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

За результатами розрахунків обрано автоматичні вимикачі: марки «ВА» з номінальним струмом 1000 А та вимикач марки «ТД».

Далі виконується обчислення струмів КЗ на стороні низької напруги.

Обчислення проводяться для найбільш несприятливого режиму — короткого замикання на вводі №1.

Для цього необхідно побудувати схему заміщення силової частини на стороні НН (0,4 кВ), наведену на рис. 3.3.

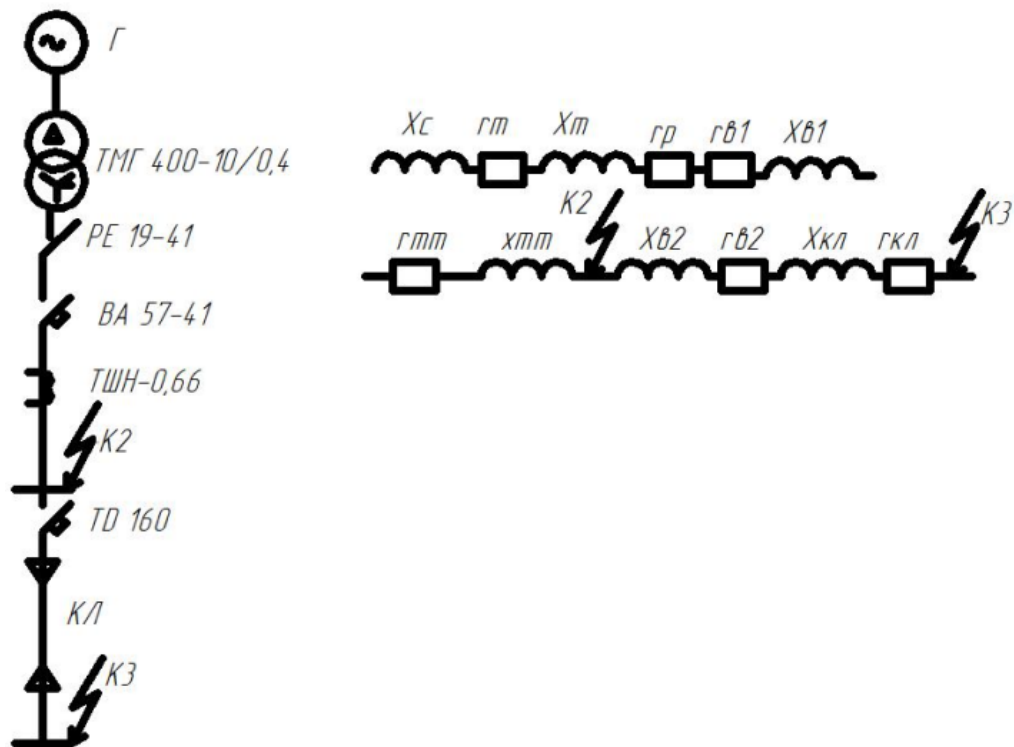


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема (а) та схема заміщення (б) на стороні НН

Здійснимо обчислення параметрів схеми заміщення.

Параметри системи отримаємо наступні :

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

Параметри силового трансформатора обчислюємо за формулою :

$$r_T = \frac{\Delta P_{\kappa} \cdot U_H^2}{S_H^2} = \frac{5,5 \cdot 0,4^2}{400^2} = 0,0055 \text{ мОм,}$$

де S_H – паспортне значення повної потужності трансформатора, кВА ;

U_H – паспортний показник напруги на стороні НН, кВ ;

ΔP_{κ} – паспортні дані стосовно втрат у сталі, кВт .

$$z_T = \frac{U_{\kappa} \cdot U_H^2}{100 \cdot S_H} = \frac{4,5 \cdot 0,4^2}{100 \cdot 400} = 0,018 \text{ мОм,}$$

де U_{κ} – паспортний показник втрат в міді, %

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

Довідкові параметри вимірювального ТС:

$$r_{TC} = 0,05 \text{ мОм,}$$

$$x_{TC} = 0,07 \text{ мОм}$$

Довідкові параметри для обраних АВ №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 роз'єднувача: $r_p = 0,15 \text{ мОм,}$.

Під час визначення струму короткого замикання до схеми заміщення вводять еквівалентний активний опір, який узагальнено враховує опори всіх контактних елементів (рубильників, автоматичних вимикачів, з'єднань).

Додатковий опір:

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

- на РП, заживлення яких відбувається від щитів ТП: $r_{\delta\delta\delta} = 20 \text{ мОм}$.

Здійснимо обчислення параметрів кабельних ліній:

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

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

Далі шляхом алгебраїчного підсумовування визначаємо сумарні активні та реактивні опори і обчислюємо повний опір кола до точки КЗ К2:

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

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

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

Далі обчислюємо трифазний струм КЗ на ТП (К2):

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

Здійснимо обрахування ударного трифазного струму КЗ на ТП (К2):

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

Далі шляхом алгебраїчного підсумовування додаємо усі відомі нам активні і реактивні опори між собою та отримуємо повний опір кола до точки КЗК3:

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

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

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

Надалі порахуємо трифазний струм КЗ на ТП (К3):

$$I_{K,K3}^{(3)} = \frac{U_{\text{сер.н}}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma,K3}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 60,69} = 3,81 \text{ кА}.$$

Виконуємо обчислення ударний трифазний струм КЗ на ТП (К3):

$$i_{yд,K3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot I_{K,K3}^{(3)} \cdot k_{yд} = \sqrt{2} \cdot 3,81 \cdot 1 = 6,6 \text{ кА}.$$

Згідно паспортних даних обраного нами внутрішнього розподільного пристрою ми маємо значення струму електродинамічних стійкості — 30 кА.

Отже, розрахунковий ударний струм відповідає умові вибору даного ВРП (30 кА > 6,6 кА).

Далі виконується розрахунок повного струму дугового короткого замикання для електромережі лікувального закладу. На першому етапі визначається повний опір кола з урахуванням додаткового опору електричної дуги.

Обчислюємо повний опір кола в даній точці $K2$, враховуючи опір дуги:

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

Проведемо обчислення повного опору кола в точці $K3$:

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

Тепер у нас є можливість порахувати значення коефіцієнта спаду КЗ для початкового моменту часу та для нашого усталеного моменту КЗ [14].

Для точки $K2$ зупинимо вибір на :

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

Для точки $K3$ обираємо :

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

Далі для нашого медичного закладу ми можемо обчислити струм трифазного дугового КЗ:

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

Тепер обчислюємо повний трифазний струм КЗ для точки $K2$, зважаючи на опір дуги:

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

$$I_{KM}^{(3)} = 14,26 \cdot 0,64 = 9,16 \text{ кА}; t_{K3} > 0,05 \text{ с.}$$

Враховуючи значення опору дуги, обчислюємо повний трифазний струм КЗ для точки $K3$:

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

$$I_{KM}^{(3)} = 3,81 \cdot 0,85 = 3,24 \text{ кА}; t_{K3} > 0,05 \text{ с.}$$

Наступним кроком обчислюємо ударний струм КЗ для нашої медичної установи:

$$i_{y\partial, K3} = \sqrt{2} \cdot I_{KM}^{(3)} \cdot \kappa_y.$$

Враховуючи опір дуги, обчислюємо повний ударний струм в точці $K2$:

$$\frac{x_{\Sigma K3}}{r_{\Sigma K3}} = 0,011; \kappa_y = 1;$$

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

3.7 Повний розрахунок та встановлення електричних провідників для силового електрообладнання

3.7.1 Встановлення електричних провідників для силового електрообладнання на стороні ВН

Вибір силового обладнання: вимикач навантаження.

Під час вибору враховуємо відповідність параметрів мережі характеристикам вимикача: зіставляємо робочу напругу мережі з його номінальною напругою, а номінальний струм мережі — з допустимим струмом вимикача. Також перевіряємо його комутаційну та відключаючу здатність ($I_{вимк}$), зокрема за струмом вимкнення, і оцінюємо здатність витримувати аперіодичну складову струму короткого замикання. Окремо аналізуємо електродинамічну та термічну стійкість обладнання:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$B_{к.ном} = 20^2 \cdot 0,32 = 128кА^2 \cdot c$$

$$B_k = 3,712кА^2 \cdot c \leq B_{к.ном} = 128кА^2 \cdot c$$

Згідно результатів наших обчислень можемо обрати вимикач навантаження — ВНАП 10-630-20-23 УЗ [15] з такими характеристиками згідно каталогу:

- номінальна наруга — 10кВ
- номінальний тривалий струм 630А
- струм відключення 20кА.

Всього буде встановлено два таких вимикачі: один — до комірки повітряного воду, а інший — у відсік силового трансформатора.

Вибір захисного обладнання: запобіжник.

Обираємо запобіжник шляхом зіставлення параметрів мережі з його характеристиками. Зокрема, порівнюємо напругу мережі з номінальною напругою запобіжника, а номінальний струм — із допустимим струмом спрацювання. Додатково враховуємо розрахункову та фактичну вимикаючу здатність запобіжника ($I_{вим}$):

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

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

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

Згідно результатів обчислень бачимо, що можемо обрати запобіжник марки «ПКТ» [15] з характеристиками згідно каталогу:

- номінальна напруга 10кВ
- номінальний струм 50А
- номінальний струм відключення 12.5кА.

Вибір силового обладнання: роз'єднувач.

Обираємо силове обладнання (роз'єднувач) на основі зіставлення параметрів мережі з його технічними характеристиками. Зокрема, робочу напругу мережі порівнюємо із номінальною напругою роз'єднувача, а номінальний струм — із допустимим струмом пристрою. Додатково перевіряємо його електродинамічну та термічну стійкість.

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

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

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

$$i_{y0} = 7,97кА \leq i_{п.рс} = 25кА$$

$$B_k = I_T^2 \cdot t_T = 3,17^2 \cdot 4 = 40,2кА^2 \cdot с$$

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

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

За результатами обчислень бачимо, що можемо обрати роз'єднувач марки «РЛНД-УХЛІ» [15] з такими характеристиками згідно каталогу:

- один заземляючий ніж
- номінальна напруга 10кВ
- номінальний тривалий струм 400А .

Вибір трансформатору струму ТС.

Вибір вимірювального трансформатора струму (ТС) виконуємо на основі порівняння параметрів мережі з його номінальними характеристиками. Робочу напругу мережі зіставляємо із номінальною напругою ТС, а номінальний струм — із його первинним номінальним струмом. Окрім цього, враховуємо електродинамічну та термічну стійкість пристрою.

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

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

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

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

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

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

Згідно результатів обчислення обираємо ТС марки «ТОЛ-10» [15], з наступними характеристиками:

- номінальна напруга 10кВ
- номінальний тривалий струм 630А
- струм відключення 51кА .

3.7.2 Установка електричних провідників для силового електрообладнання на стороні НН

Вибір силового обладнання: роз'єднувач.

Вибір силового обладнання (роз'єднувача) здійснюємо шляхом зіставлення параметрів мережі з його номінальними характеристиками. Таким чином, ми

порівнюємо напругу мережі із номінальною напругою роз'єднувача, а номінальний струм — із його номінальним струмом.

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

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

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

За результатами обчислень обираємо роз'єднувач марки «PE19-41-211100 1000А [15] з наступними характеристиками:

- номінальний струм 1000 А.

Вибір силового обладнання: силовий вимикач.

Вибір силового обладнання (силового вимикача) здійснюємо шляхом зіставлення параметрів мережі з його технічними характеристиками. Зокрема, напругу мережі порівнюють із номінальною напругою вимикача, а номінальний струм — із його номінальним струмом.

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

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

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

Інші вимикачі, що не виконують комутаційних функцій, підбирають за аналогічними критеріями. Максимальний струм визначають на основі розрахункової потужності в аварійному режимі.

Для приєднання корпусів лікувального закладу до системи електропостачання застосовується кабель марки АВВГ-1,0, який укладається в траншеї на глибині 0,7 м від планувальної відмітки поверхні. У місцях перетину з інженерними мережами та автомобільними дорогами кабель додатково захищають азбестоцементною трубою і цегляним покриттям відповідно до нормативних вимог. Підйоми та спуски кабелю до дизель-генераторної установки виконують у водогазопровідній трубі.

Розрахунок живильних ліній здійснюють за методикою, використаною при попередньому виборі ліній електроживлення, з обов'язковим урахуванням уставок розчеплювачів обраних автоматичних вимикачів.

У разі живлення споживачів одним кабелем застосовується спрощена схема розрахунку. Вибір перерізу кабелів напругою до 1 кВ виконується за допустимим струмом у нормальному режимі з урахуванням умов прокладання, і перевіркою перевантажувального струму, втратами напруги та термічною стійкістю при струмах короткого замикання.

Обчислимо струм на кабельній лінії за нормального режиму:

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

де $S_{p.к}$ – потужність, що передається кабельною лінією в режимі номінального навантаження, *кВА*.

Переріз кабелю обирають, щоб задовольнялася наступна умова:

$$I_p \leq I_{доп.довг},$$

де $I_{доп.довг}$ – максимально допустиме струмове навантаження кабелю при тривалій експлуатації, скориговане відповідно до кількості суміжних ліній у траншеї та фактичної температури землі (середовища) k_t :

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

Також обчислюємо втрати напруги на 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

У цьому розділі наведено розрахунок електричних навантажень для всього лікувального закладу. Проведено повний аналіз освітлювальних систем і обладнання корпусів, виконано розрахунок та підбір дизель-генераторної установки, а також визначено струми КЗ на стороні високої та низької напруг підстанції. Крім того, розраховано й підібрано електричні провідники для живлення силового обладнання закладу.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів при проектуванні та експлуатації системи безперебійного живлення

При проектуванні, монтажі та експлуатації системи безперебійного живлення (СБЖ) для електропостачання лікувального закладу необхідно враховувати широкий спектр небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які можуть впливати на персонал, що обслуговує обладнання, а також на пацієнтів та відвідувачів медичної установи. Згідно з ДСТУ 12.0.002-2014 [23], небезпечні та шкідливі виробничі фактори поділяються на фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

До основних фізичних небезпечних факторів належить ураження електричним струмом. Електроустановки СБЖ працюють під напругою 220/380 В змінного струму та 12–220 В постійного струму. Контакт із струмоведучими частинами може призвести до електротравми різного ступеня тяжкості — від місцевого ураження до летального наслідку. Особливу небезпеку становлять роботи з первинними ланцюгами зарядних пристроїв, інверторів та комутаційних апаратів, де струми короткого замикання можуть сягати десятків кілоампер. Величина струму, що проходить через тіло людини, залежить від опору шкіри, вологості, площі контакту та напруги. Небезпечними для життя вважаються струми понад 50 мА змінного струму частотою 50 Гц та 100 мА постійного струму. При напрузі 220 В опір сухої шкіри становить 1000–3000 Ом, вологої — 500–1000 Ом, що може призвести до проходження через тіло струму, небезпечного для життя.

Електромагнітні випромінювання є характерним фактором для роботи потужних інверторів, трансформаторів та силових кабелів. При тривалому впливі електромагнітних полів промислової частоти (50 Гц) можливі функціональні порушення в організмі людини, зокрема зміни в серцево-судинній та нервовій системах. Для зменшення цього впливу необхідно

дотримуватися санітарних норм щодо рівнів електромагнітних полів згідно з ДСН 3.3.6.096-2002 [24]. Рівень напруженості електричного поля на робочих місцях не повинен перевищувати 5 кВ/м, а магнітної індукції — 0,05 мТл для робіт тривалістю до 8 годин на добу. Для зниження рівня електромагнітних полів рекомендується екранування силових кабелів, застосування трансформаторів з розосередженими обмотками, дотримання безпечних відстаней від джерел випромінювання.

Підвищена температура поверхонь обладнання пов'язана з роботою силових трансформаторів, випрямлячів, акумуляторних батарей під час заряду та розряду. Температура корпусів може перевищувати 60 °С, що створює ризик отримання опіків. Крім того, виділення тепла в приміщеннях вимагає організації ефективної вентиляції для підтримання оптимального температурного режиму роботи апаратури. Перевищення температури в приміщенні понад 28 °С призводить до зниження працездатності персоналу та підвищення ймовірності помилок при обслуговуванні обладнання. Оптимальна температура для роботи акумуляторних батарей становить 20–25 °С, при зниженні до 10 °С ємність батареї зменшується на 20–25%, при підвищенні до 40 °С термін служби скорочується вдвічі.

Підвищений рівень шуму та вібрації характерний для роботи дизель-генераторних установок (ДГУ), які використовуються як резервні джерела живлення в складі СБЖ. Рівень звукового тиску біля працюючого дизель-генератора може сягати 85–100 дБ, що перевищує допустимі значення згідно з ДСН 3.3.6.037-99 [25]. Тривалий вплив шуму призводить до зниження слуху, нервово-емоційного напруження та втоми. Вібрація може спричинити вібраційну хворобу та негативно впливати на працездатність персоналу. Допустимі рівні вібрації на робочих місцях не повинні перевищувати 93 дБ (відносно 10^{-6} м/с²) за смугою частот 8–16 Гц. Для зниження шуму та вібрації застосовуються шумопоглинаючі кожухи, віброізоляція опор, шумоглушники у впускній та вихлопній системах.

Хімічні небезпечні та шкідливі фактори пов'язані з використанням акумуляторних батарей. При експлуатації свинцево-кислотних акумуляторів можливе виділення сірчаної кислоти у вигляді аерозолів, а також водню в процесі електролізу під час заряду. Накопичення водню в замкнених приміщеннях створює небезпеку вибуху при концентрації понад 4% від об'єму повітря. Нижня концентраційна межа поширення полум'я для водню становить 4%, верхня — 75%, тому навіть невелике виділення водню в замкнутому приміщенні є небезпечним. Літій-іонні акумулятори при пошкодженні можуть самозайматися, виділяючи токсичні продукти горіння. Тому приміщення для акумуляторних батарей необхідно обладнати примусовою вентиляцією та системами пожежної сигналізації.

Вихлопні гази ДГУ містять оксиди азоту, оксиди вуглецю, сажу та вуглеводні. При недостатній вентиляції можливе перевищення гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин в повітрі робочої зони, що призводить до отруєння персоналу. Гранично допустима концентрація СО становить 20 мг/м³, оксидів азоту — 5 мг/м³ згідно з ГДК.

Психофізіологічні фактори включають розумове та нервово-емоційне перевантаження, пов'язане з необхідністю постійного моніторингу стану системи електропостачання, оперативного реагування на аварійні ситуації, відповідальності за безперебійне живлення критично важливого медичного обладнання. Нервово-емоційне напруження посилюється в умовах лікувального закладу, де від надійності електропостачання безпосередньо залежить життя пацієнтів.

4.2 Організація безпечної праці та екологічна безпека при експлуатації системи безперебійного живлення

Організація безпечної праці та засоби індивідуального захисту.

Персонал, що обслуговує електроустановки СБЖ, повинен мати відповідну електротехнічну освіту, проходити навчання з електробезпеки та

атестацію. Для обслуговування установок до 1000 В необхідна III група допуску, для відповідальної особи — IV група. Роботи виконуються за нарядом-допуском або розпорядженням згідно з ПТЕЕП та ПТЕ.

Технічні заходи при роботі в електроустановках: відключення від джерел живлення, встановлення попереджувальних плакатів, перевірка відсутності напруги, встановлення заземлення, огороження робочої зони. Забороняється виконувати роботи в електроустановках під напругою без застосування відповідних ЗІЗ та дотримання вимог безпеки.

Засоби індивідуального захисту: діелектричні рукавички та галоші, діелектричний килимок, захисний шолом, окуляри, спецодяг із бавовняної тканини, взуття з ізолюваною підошвою. При роботі з ДГУ — засоби захисту слуху, окуляри від мастил, респіратори. При роботі з акумуляторами — рукавички з кислотостійкого матеріалу, захисні окуляри.

При обслуговуванні акумуляторів роботи виконуються в захисних окулярах та рукавичках. Забороняється відкритий вогонь та куріння. Концентрація водню не повинна перевищувати 0,8% від об'єму повітря. При роботі з ДГУ двигун повинен бути охолоджений, паливна система відключена, заправка проводиться при вимкненому двигуні.

Екологічна безпека та поводження з відходами.

Екологічна безпека пов'язана з утилізацією відпрацьованих акумуляторів, мастильних матеріалів, фільтрів ДГУ та зниженням викидів вихлопних газів.

Свинцево-кислотні акумулятори та літій-іонні належать до небезпечних відходів. Їх збирання, транспортування та утилізація здійснюються відповідно до Закону України «Про управління відходами» [26] ліцензованими підприємствами. Забороняється викидання акумуляторів на звалища або їхнє захоронення без переробки.

Мастильні матеріали ДГУ збираються в герметичні ємності та передаються для регенерації. Викидання в каналізацію або на ґрунт забороняється.

Для зниження шуму від ДГУ застосовуються шумопоглинаючі кожухи, віброізоляція опор, шумоглушники. Рівень звукового тиску на межі санітарно-

захисної зони не повинен перевищувати 55 дБА вдень та 45 дБА вночі. Вихлопна труба виводиться на висоту не менше 2 м з шумоглушником та сажовим фільтром.

Аналіз аварійності та заходи щодо запобігання нещасним випадкам

Аналіз статистики свідчить, що основними причинами травматизму є: порушення правил техніки безпеки (40%), відсутність заземлення (20%), робота без допуску (15%), несправність ЗІЗ (10%), відсутність огороження (8%).

Для запобігання нещасним випадкам необхідно: дотримуватися ПУЕ та ПТБЕП; проводити регулярні інструктажі (вступний, первинний, повторний, позаплановий, цільовий); контролювати стан обладнання, заземлення, ізоляції; вести облік аварій та травм; розробити план зниження професійного ризику.

Особливу увагу необхідно приділяти роботі з акумуляторними батареями. Послідовне з'єднання елементів створює небезпечну напругу (наприклад, 180 елементів $\times 2 \text{ В} = 360 \text{ В}$). При короткому замиканні струм може сягати тисяч ампер. Для зниження ризику використовують ізольований інструмент, знімають металеві прикраси, застосовують захисні окуляри та рукавички, забезпечують вентиляцію, мають засоби нейтралізації електроліту (розчин соди для кислотних батарей).

При роботі з ДГУ небезпеку становлять обертові деталі, висока температура поверхонь, тиск у паливній системі, важкі деталі. Запобіжні заходи: огороження обертових частин, охолодження двигуна перед ремонтом, використання підйомних механізмів, витяжна вентиляція, ЗІЗ.

4.3 Заходи з електробезпеки та пожежної безпеки при проектуванні та експлуатації системи безперебійного живлення

Забезпечення електробезпеки та пожежної безпеки при проектуванні і подальшій експлуатації системи безперебійного живлення (СБЖ) у лікувальному закладі є комплексним інженерно-організаційним завданням, що охоплює всі етапи життєвого циклу обладнання. Враховуючи критичність

електропостачання для медичних установ, вимоги до безпеки таких систем є підвищеними та регламентуються положеннями ПУЕ, НПАОП з охорони праці в електроустановках, а також нормами пожежної безпеки та будівельними стандартами щодо електротехнічних приміщень.

На стадії проєктування системи безперебійного живлення визначальним є правильне врахування умов розміщення обладнання та характеру навантаження. Одним із ключових заходів електробезпеки є вибір схем електропостачання з урахуванням резервування критичних споживачів. Для лікувальних закладів зазвичай передбачається виділення окремих груп навантажень, які не допускають перерви живлення навіть у разі аварії основної мережі.

Проєктування повинно враховувати вимоги щодо електричної ізоляції, селективності захистів та координації автоматичних вимикачів. Це дозволяє локалізувати аварійні режими та запобігти їх поширенню на інші ділянки електромережі. Важливим є також правильний розрахунок струмів короткого замикання та вибір обладнання, яке здатне безпечно працювати в таких умовах.

Окрему увагу приділяють заземлювальним пристроям. Відповідно до вимог ПУЕ, усі металеві частини електроустановок, які не перебувають під напругою в нормальному режимі, але можуть опинитися під нею при аварії, повинні бути надійно приєднані до системи захисного заземлення. Крім того, проєктом передбачається вирівнювання потенціалів у межах приміщення, де встановлено СБЖ, що знижує ризик ураження електричним струмом.

Важливим аспектом є вибір місця розміщення акумуляторних батарей та інверторного обладнання. Такі приміщення повинні бути відокремлені від основних робочих зон, мати обмежений доступ, а також відповідати вимогам щодо пожежної безпеки. Вентиляція розраховується таким чином, щоб виключити накопичення вибухонебезпечних газів, які можуть утворюватися під час заряджання акумуляторів.

На етапі експлуатації система електробезпеки базується на поєднанні технічних засобів захисту та організаційних процедур. До основних технічних

заходів належать застосування автоматичних вимикачів, пристроїв захисного відключення та систем контролю параметрів електромережі. Ці пристрої дозволяють оперативно реагувати на відхилення режимів роботи та запобігати розвитку аварій.

Обов'язковим є регулярний контроль стану ізоляції електричних мереж та кабельних ліній. Пошкодження ізоляції є однією з найпоширеніших причин ураження електричним струмом та виникнення пожеж. Тому періодичні вимірювання опору ізоляції є частиною планово-профілактичного обслуговування.

Система заземлення та вирівнювання потенціалів повинна перебувати під постійним контролем. Її ефективність визначає рівень безпеки персоналу при можливих аварійних режимах. Будь-які зміни в електричній схемі повинні супроводжуватися перевіркою заземлювальних з'єднань.

Організаційні заходи відіграють не менш важливу роль, ніж технічні. До робіт з обслуговування СБЖ допускаються лише працівники, які пройшли навчання, перевірку знань та мають відповідну групу з електробезпеки. Перед виконанням робіт проводиться інструктаж, у якому визначаються можливі ризики та порядок дій у разі виникнення небезпечних ситуацій.

Роботи підвищеної складності виконуються за нарядом-допуском, що забезпечує контроль за всіма етапами виконання робіт та визначає відповідальних осіб. Забороняється виконання робіт без попереднього знеструмлення обладнання, за винятком спеціально регламентованих випадків, коли відключення неможливе через критичність навантаження.

Засоби індивідуального захисту : діелектричні рукавички, діелектричні калоші, діелектричні боти, діелектричні килимки, ізолювальні підставки, ізолювальний інструмент, ізолювальні штанги, ізолювальні кліщі, захисна каска, захисний щиток обличчя, захисні окуляри, термостійкий спецодяг, термостійкі підшоломники, запобіжні пояси, страхувальні стропи, монтерські кігті, лази, переносні заземлення, ізолювальні накладки, ізолювальні ковпаки - є обов'язковими під час виконання будь-яких операцій у електроустановках. Їх

використання значно знижує ризик ураження електричним струмом навіть у разі непередбачуваних аварійних ситуацій.

Пожежна безпека СБЖ забезпечується ще на етапі проєктування шляхом правильного вибору електрообладнання, кабельної продукції та систем захисту. Всі елементи системи повинні відповідати вимогам пожежної безпеки та мати відповідні сертифікати.

Особливу увагу приділяють акумуляторним приміщенням. Вони проєктуються як окремі функціональні зони з обмеженим доступом, негорючими конструкціями та системою вентиляції, що забезпечує видалення можливих газових домішок. У деяких випадках передбачається встановлення датчиків температури та газоаналізаторів для контролю стану повітря.

Кабельні лінії марки АВБШв та ВБШв прокладаються з використанням матеріалів, які мають підвищену стійкість до займання та не підтримують горіння. Це дозволяє зменшити швидкість поширення пожежі у разі її виникнення.

У разі виникнення аварійної ситуації персонал повинен діяти відповідно до заздалегідь розробленого плану ліквідації аварій. Насамперед необхідно оцінити характер загрози та, за можливості, перевести систему в безпечний режим або знеструмити її.

У випадку пожежі або задимлення слід негайно повідомити відповідальні служби та організувати евакуацію персоналу. При ураженні електричним струмом необхідно припинити дію струму на потерпілого та надати домедичну допомогу до прибуття медичних працівників.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дана робота присвячена виконанню проєктування надійної та безпечної системи електропостачання медичної установи опираючись на вимоги до якості електроенергії. У процесі роботи проведено аналіз електроприймачів, притаманних універсальним медичним закладам, а також розглянуто вимоги до систем електропостачання закладів охорони здоров'я щодо надійності, безпеки та якості електроенергії.

У ході дослідження обґрунтовано, що з метою гарантування безперебійного електропостачання комплексних медичних закладів доречно використовувати систему гарантованого електроживлення на базі двох безперервного живлення (ДБЖ), схему їх паралельного підключення з резервуванням, дизель-генераторну установку (ДГУ) та автоматичний пристрій введення резерву (АВР) для перемикання на резервне джерело живлення. Також виконано оцінювання можливих варіантів побудови системи електропостачання та здійснено вибір відповідного електротехнічного обладнання.

На основі проведеного аналізу створено проєкт електропостачання медичної установи опираючись на встановлені рекомендації. Побудовано часову діаграму функціонування комплексу СБЕ–СГЕ та підібрано електричну схему електропостачання комплексного медичного закладу з медичною ІТ-системою. Крім того, розроблено й обґрунтовано комплекс заходів, націлених на підвищення параметрів якості електричної енергії в системі електропостачання.

Отже, у результаті проєктування системи електропостачання медичної установи обрано найбільш ефективні схемні рішення, які гарантують підвищений рівень надійності та безпеки системи електропостачання, а також сприяють покращенню якості електроенергії для споживачів медичної установи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тарасенко М.Г., Коваль В.П., Буняк О.А., Мовчан Л.Т. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 50 с.
2. 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).
3. 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.
4. 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.
5. 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).
6. ДСТУ EN 50160:2014 Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності (EN 50160:2010, IDT)
7. 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).

8. 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.

9. 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.

10. 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 (дата звернення: 01.11.2023).

11. ДБН В.2.2-10:2022 Заклади охорони здоров'я (затверджені Наказом Міністерства розвитку громад та територій України від 26.12.2022 року №278.

12. 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.

13. 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>

14. 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.

15. 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.

16. Укрелектро. Високовольтне та низьковольтне обладнання [Веб-сайт]. - Запоріжжя, 2023. - URL: <https://ukrelektro.com.ua/> (дата звернення: 06.11.2023).

17. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво "Форт", 2017. - 760 с.
18. 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.
19. 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.
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. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник. 5-е вид. / За ред. М.П. Гандзюка. - К.: Каравела, 2011. - 384 с.