

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет електроніки та інформаційних технологій

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра електроенергетики

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ 2023р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(бакалавр/магістр)

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка,
(код та назва)

освітньо-професійної програми «Електротехнічні системи електроспоживання»
(освітньо-професійної / освітньо-наукової) (назва програми)

на тему: «Розрахунок системи електропостачання приватного будинку з
використанням сонячних панелей»

Здобувача (ки) групи Ет-91 Карпенко Владислава Романовича
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання
на відповідне джерело.

(підпис)

Владислав КАРПЕНКО

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник старший викладач, к.т.н. Сергій ЛЕБЕДКА

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ (підпис)

Сумський державний університет

Факультет електроніки та інформаційних технологій

Кафедра електроенергетики

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. Кафедри електроенергетики

_____ І.Л. Лебединський

“ ___ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Карпенко Владислава Романовича

1. Тема роботи: «Розрахунок системи електропостачання приватного будинку з використанням сонячних панелей»

затверджена наказом по університету № _____ від _____

2. Термін здачі студентом закінченої роботи 01.06.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: план одноповерхового будинку з площею до 120 кв.м, трифазна мережа живлення 380 В, номінальна потужність електроприладів в будинку

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно вирішити):

_____ розрахувати споживане навантаження, спроектувати систему внутрішньо будинкового електропостачання, вибрати переріз проводів, розрахувати блискавкозахист, контур заземлення, вибрати апарати захисту, розрахувати параметри сонячної електростанції для покриття власних потреб

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

_____ план будинку з однолінійною схемою живлення будинку

_____ схема контуру блискавкозахисту та заземлення

_____ схема міні-СЕС та її підключення на даху

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Загальні відомості про житловий об'єкт		
2	Вибір перерізу провідників і електричних апаратів		
3	Розрахунок блискавкозахисту та захисного заземлення		
4	Проектування сонячної електростанції для житлового будинку		
5	Оформлення пояснювальної записки та креслень		

Студент _____

(підпис)

Керівник роботи _____

(підпис)

РЕФЕРАТ

с. 127, рис. 33, табл. 30

Бібліографічний опис: Карпенко В.Р. Розрахунок системи електропостачання приватного будинку з використанням сонячних панелей [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавр; спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / В.Р. Карпенко; керівник С.М. Лебедка. – Суми: СумДУ, 2023. - 127 с.

Ключові слова: електроприймач, переріз, провідник, апарат захисту, електропостачання, блискавкозахист, заземлення, сонячна електростанція;

электроприемник, сечение, проводник, аппарат защиты, электроснабжение, молниезащита, заземление, солнечная электростанция;

electrical receiver, section, conductor, protection device, power supply, lightning protection, grounding, solar power plant.

Короткий огляд (реферат): В даній роботі було виконано повне проектування та проведення електричної мережі для приватного будинку з «нуля», відповідно до вимог правил улаштування електроустановок, щоб забезпечити максимальну надійність, а найголовніше безпеку даного конкретного споживача. Проведено дослідження та розрахунки, починаючи з визначення та вибору системи заземлення; на основі розрахунку потужності був вибраний необхідний перерізу кабелю, апарати захисту; на плані будинку задля комфорту мешканців та економії матеріалів були зображені де попередньо будуть встановлені розетки, світильники та вимикачі; був розрахований та скорегований відповідно до встановленого грозозахисту контур заземлення; був вибраний бажаний тип грозозахисту з трьох можливих, що розглядалися для встановлення та забезпечення бажаного рівня грозозахисту; додатково було розглянуто можливість встановлення гібридної сонячної електростанції власних потреб для даного домогосподарства, її параметри, генеровану потужність, та економічну доцільність встановлення.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ЛЕП – лінія електропередач;

СЕС – сонячна електростанція;

ПУЕ – правила улаштування електроустановок;

ДБН – державні будівельні норми;

ГОСТ – державний стандарт;

НКРЕКП – національна комісія з питань регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг;

СПП – самонесучий ізольований провід;

ДСТУ – державний стандарт України;

ЩО – щит обліку;

ЩР – щит розподілу;

ПЗВ – пристрій захисного вимкнення;

ПУБ – прямий удар блискавки;

РБЗ – рівень блискавкозахисту;

ПЗІП – пристрій захисту від імпульсних перенапруг;

БЗС – блискавко захисна система;

ГЗШ – головна захисна шина;

ЩДС – щит постійного струму;

ОПН – обмежувач перенапруги;

ПЗФЕС – пристрій захисту фотоелектричних систем;

АКБ – акумуляторні батареї.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЖИТЛОВИЙ ОБ'ЄКТ	8
1.1 Класифікація і загальна характеристика електроприймачів	8
1.2 Тип заземлення системи.....	11
1.3 Географічне розташування та характеристика місцевості	13
РОЗДІЛ 2. ВИБІР ПЕРЕРІЗУ ПРОВІДНИКІВ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ	21
2.1 Загальні вимоги для прокладання кабелів в житлових приміщеннях.....	21
2.2 Розрахунок перерізу кабелів для електроприймачів та освітлення.....	25
2.3 Загальні вимоги для встановлення апаратів захисту	32
2.4 Вибір електричних апаратів захисту	37
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК БЛИСКАВКОЗАХИСТУ ТА ЗАХИСНОГО ЗАЗЕМЛЕННЯ	43
3.1 Загальні вимоги для встановлення грозозахисту та захисного заземлення	43
3.2 Розрахунок зовнішнього блискавкозахисту.....	55
3.3 Розрахунок внутрішнього блискавкозахисту (ПЗІП).....	70
3.4 Порядок розрахунку захисного заземлення.....	78
РОЗДІЛ 4. ПРОЄКТУВАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ	88
4.1 Точний розрахунок споживаної електроенергії для житлового об'єкта	88
4.2 Розрахунок сонячної електростанції для покриття власних потреб	89
4.3 Визначення терміну окупності СЕС	117
ВИСНОВОК	123
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	125

					КП 3.6.141.141 ПЗ			
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Карпенко В.Р.</i>			Розрахунок системи електропостачання приватного будинку з використанням сонячних панелей	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Лебедка С.М.</i>					6	127
<i>Реценз.</i>						СумДУ ЕТ-91		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>								

ВСТУП

Підключення будинку до електричної мережі це реальна ситуація з якою хоча б раз в житті може зіткнутися кожен. Тому потрібно бути готовим до того, щоб провести всі необхідні роботи на стадії проєктування аби потім забезпечити комфорт та безпеку для життя в цьому приміщенні, а також зекономити гроші у разі повторного ремонту через неправильно вибраний апарат захисту, що призвів до пожежі або замалого перерізу кабелю через який він втратив ізоляційні властивості та його потрібно замінити раніше встановленого терміну.

До того ж ми живимо у складні часи, коли надання електричної енергії до будинку є неможливим через обстріли Росією трансформаторів або ЛЕП. Коли електроенергії може не бути більше ніж це дозволено для певної категорії споживачів. Важливим, як показала практика, в такі моменти є доступ до мережі інтернет, можливість опалення свого приміщення (насоси газових котлів або електроопалення) в холодні пори року або навпаки забезпечення придатного до вживання стану їжі у теплі пори року. Тут варто замислитись над альтернативним джерелом живлення. І цей досвід можна перейняти в інших європейських країн, мешканці яких звикли мати автономне джерело електроенергії та лише інколи підключатися до загальної мережі у разі несприятливих погодних умов або перенавантаження. Це можуть бути сонячні панелі, котрі вже встигли себе зарекомендувати як гарна альтернатива. Тому буде непогано в ході даної роботи окрім монтажу електропроводки, вибору автоматів захисту, підключення власноруч зробленого заземлення, розрахунку грозозахисту, додатково розглянути встановлення власної СЕС для приватного будинку. Поставити, так би мовити, крапку у цьому питанні, розібратися чи є взагалі у встановленні СЕС якийсь сенс, чи звичайний генератор надійніше?

					КП 3.6.141.141 ПЗ	Арк.
						7
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЖИТЛОВИЙ ОБ'ЄКТ

1.1 Класифікація і загальна характеристика електроприймачів

Згідно ПУЕ п.1.2.17 Електроприймачі за надійністю електропостачання поділяють на такі три категорії:

ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІ І КАТЕГОРІЇ – електроприймачі, переривання електропостачання яких може спричинити: небезпеку для життя людей, значний матеріальний збиток споживачам електричної енергії (пошкодження дорогого основного обладнання, масовий брак продукції), розлад складного технологічного процесу, порушення функціонування особливо важливих елементів комунального господарства. У складі електроприймачів І категорії виділяється особлива група електроприймачів, безперебійна робота яких є необхідною для безаварійної зупинки виробництва з метою запобігання загрозі життю людей, вибухам, пожежам і пошкодженням високовартісного основного обладнання, втраті важливої інформації.

ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІ ІІ КАТЕГОРІЇ – електроприймачі, перерва електропостачання яких призводить до масового недовипуску продукції, масових простоїв робітників, механізмів і промислового транспорту, порушення нормальної діяльності значної кількості міських і сільських жителів.

ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІ ІІІ КАТЕГОРІЇ – решта електроприймачів, що не підпадають під визначення І та ІІ категорій. Категорії надійності електропостачання визначають залежно від технології основного виробництва споживача електроенергії згідно з вимогами ДБН В.2.5-23:2010 «Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення». Остаточні категорії надійності узгоджуються замовником проекту електропостачання споживача від зовнішніх джерел електроенергії.

1.2.18 Електроприймачі І категорії треба забезпечувати електроенергією від двох незалежних взаєморезервуючих джерел живлення, і перерву їх електропостачання в разі порушення електропостачання від одного з джерел

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
						8
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

живлення можна допускати лише на час автоматичного відновлення живлення.

Перемикання джерел живлення треба здійснювати за мінімально короткий час і по можливості не змінювати режим роботи обладнання споживачів. Для електропостачання особливої групи електроприймачів I категорії має передбачатися додаткове живлення від третього незалежного взаєморезервуючого джерела живлення.

Як третє незалежне джерело живлення для особливої групи електроприймачів і як друге незалежне джерело живлення для решти електроприймачів I категорії може бути використано місцеві електростанції, електростанції енергосистем (зокрема, шини генераторної напруги), спеціальні агрегати безперебійного живлення, акумуляторні батареї тощо.

Якщо резервуванням електропостачання не можна забезпечити необхідну безперервність технологічного процесу або якщо резервування електропостачання є економічно недоцільним, то технологічне резервування забезпечується, наприклад, шляхом установаження взаєморезервуючих технологічних агрегатів, спеціальних пристроїв безаварійної зупинки технологічного процесу, які діють у разі порушення електропостачання.

Електропостачання електроприймачів I категорії з особливо складним безперервним технологічним процесом, який потребує тривалого часу на відновлення робочого режиму, за наявності техніко-економічних обґрунтувань рекомендовано здійснювати від двох незалежних взаєморезервуючих джерел живлення, до яких висуваються додаткові вимоги, що визначаються особливостями технологічного процесу.

1.2.19 Електроприймачі II категорії необхідно забезпечувати електроенергією від двох незалежних взаєморезервуючих джерел живлення. Для електроприймачів II категорії в разі порушення електропостачання від одного з джерел живлення переривання електропостачання є допустимим на час, необхідний для увімкнення резервного живлення діями чергового персоналу або виїзної оперативної бригади.

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
						9
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2.20 Для електроприймачів III категорії електропостачання може здійснюватися від одного джерела живлення за умови, що час переривання електропостачання, необхідний для ремонту або заміни пошкодженого елемента системи електропостачання, не перевищує однієї доби [1].

Отже, в моєму випадку розрахунок буде проводитися для побутового споживача який відноситься до III категорії надійності. Оскільки немає критично важливих приладів, що можуть спричинити небезпеку людей або недовипуск на виробництві.

Важливим залишається питання дозволеної потужності на одне домогосподарство та власне потужність побутових приладів для яких буде проводитися розрахунок. Всі побутові прилади наведені в таблиці 1.1:

Таблиця 1.1 – Електроприймачі та їх встановлена потужність

Категорія	Вид пристрою	Потужність, Вт
Інструмент	Електролобзик	500-800
	Дриль	500-1000
	Шліфувальна машина	500-1500
	Компресор	500-3000
Побутова техніка	Фен	500-2500
	Обігрівач	500-2000
	Посудомийна машина	1000-2500
	Праска	1000-2500
	Порохотяг	500-3000
	Телевізор	30-500
	Мікрохвильова піч	500-1500
	Холодильник	50-500
	Електроплита	4000-8000
	Електросушарка	50-500
	Пральна машина	1700-2400
	Освітлення	20-250
Кондиціонер	500-3000	
Додатково	Електричний котел	5000-15000
Разом		50450

Раніше, на одне домогосподарство виділялася потужність на рівні 3 кВт. Цієї електроенергії було катастрофічно замало. Тому нещодавно у 2022 році НКРЕКП внесла зміни, та підвищила цей ліміт до 5 кВт. Для приватного будинку, в якому планується встановлення електричного опалення та електроплити лише одночасне споживання цих 2 пристроїв за мінімальної потужності (1 зона підігріву та 1 елемент опалення) може скласти близько 6 кВт. Це вже не кажучи про інші електроприлади що можуть бути підключені. Тому в таких випадках рекомендується підключення до 3 фазної мережі. Тоді ліміт електроспоживання сягне 15 кВт [2]. Цього все одно недостатньо в моєму випадку, однак цей ліміт можна розширити й гарно це зробити на стадії проєктування яка буде трохи згодом в цій же роботі де потужність побутових приладів також буде скорегована.

1.2 Тип заземлення системи

Повертаємось до ПУЕ знову, а саме п.1.7.26 тип заземлення системи. Позначення, яке характеризує влаштування нейтрального провідника (N-провідника) або провідника середньої точки (M-провідника) і з'єднання з землею струмовідних частин джерела живлення та відкритих провідних частин в електроустановках напругою до 1 кВ.

Відповідно до ГОСТ 30331.2-95 «Електроустановки будівель. Частина 3. Основні характеристики (МЭК 364-3-93)» у цій главі прийнято такі позначення типу заземлення системи:

система **TN** (T-terre-земля, N-neuter-нейтраль) – Система, в якій мережа живлення має глухе заземлення однієї точки струмовідних частин джерела живлення, а електроприймачі і відкриті провідні частини електроустановки приєднуються до цієї точки за допомогою відповідно N- або M- і захисного PE-провідників;

система **TN-S** (S-separated-роз'єднаний) – Система TN, в якій N- або M- і PE-провідники розділено по всій мережі;

					КП 3.6.141.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

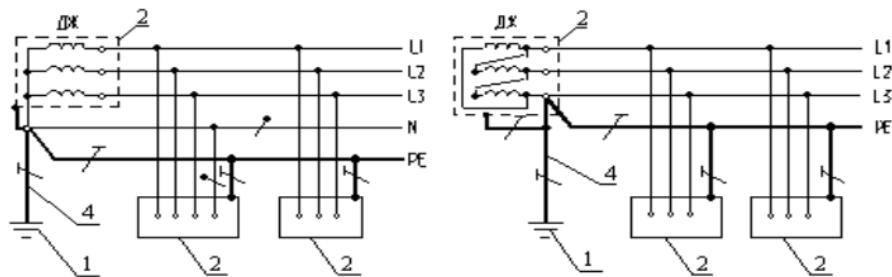
система **TN-C** (C-combined-спільний) – Система TN, в якій N- або M- і PE-провідники поєднано в одному PEN-провіднику по всій мережі;

система **TN-C-S** – Система TN, в якій N- або M- і PE-провідники поєднано в одному провіднику в частині мережі, починаючи від джерела живлення;

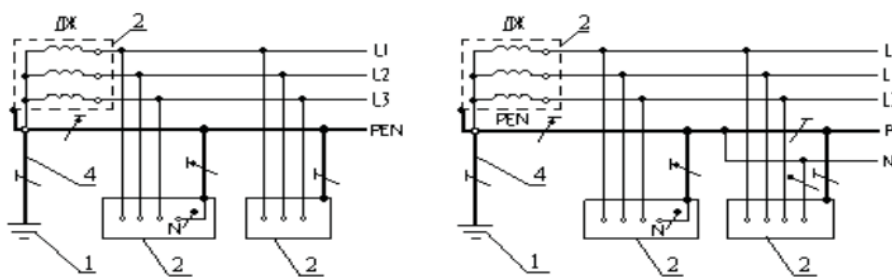
система **TT** (T-terre-земля) – Система, одну точку струмовідних частин джерела живлення якої заземлено, а відкриті провідні частини електроустановки приєднано до PE-провідника, з'єднаного із заземлювачем, електрично незалежним від заземлювача,

до якого приєднано точку струмовідних частин джерела живлення;

система **IT** (I-isole-ізолюваний) – Система, в якій мережу живлення ізолювано від землі або її заземлено через прилади або (і) пристрої, що мають великий опір, а відкриті провідні частини електроустановки приєднано до заземленого PE-провідника.

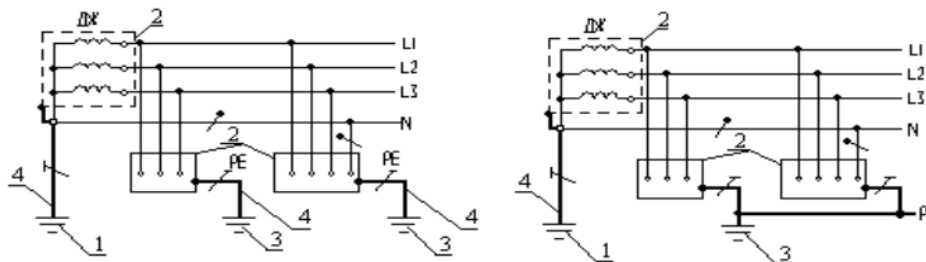


Система TN-S



Система TN-C

Система TN-C-S



Система TT

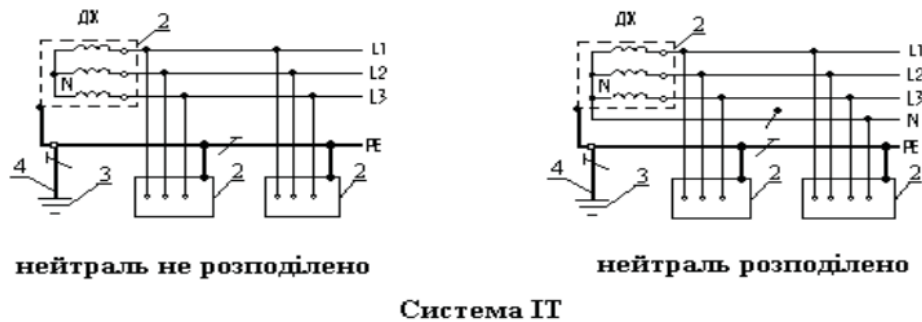


Рис. 1.2.1 – Приклади виконання систем TN-S, TN-C, TN-C-S, TT і IT у трифазних електроустановках змінного струму напругою до 1 кВ

Система TT використовується у тих випадках, коли інші системи не можуть забезпечити надійного захисту мережі. Коли, наприклад, лінії прокладені не ізольованими проводами або біля стовпів немає заземлення. Так як в мене приватний будинок в сільській місцевості, хоч і не далеко від міста, то не зайвим буде використати саме систему TT.

1.3 Географічне розташування та характеристика місцевості

До початку розрахунку було б гарно визначитись з місцем розташування земельної ділянки. За допомогою сервісу «Google Maps» на супутниковому знімку було вибрано ділянку в селі Косівщина, що недалеко біля м. Суми. Приблизне розташування показано на рис. 1.3.1.

На земельній ділянці буде розташований одноповерховий будинок, площею приблизно до 120 м². Для правильного проєктування потрібен план будинку наведений на рис. 1.3.2. План будинку є необхідним інструментом при проєктуванні електропроводки, тому що він дозволяє враховувати особливості кожного приміщення та правильно розташовувати розетки, вимикачі та світильники. За допомогою плану будинку можна визначити точні місця, де знадобиться встановлення електроприладів, і розташувати розетки та вимикачі відповідно до цих потреб. Також можна планувати маршрути прокладання проводів, враховуючи особливості кожного приміщення та уникаючи кривих зекономити на довжині проводів. Таким чином, план будинку при проєктуванні електропроводки є

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

необхідним інструментом для створення ефективної, безпечної та функціональної електропроводки у будинку.



Рис. 1.3.1 – Місцезнаходження земельної ділянки

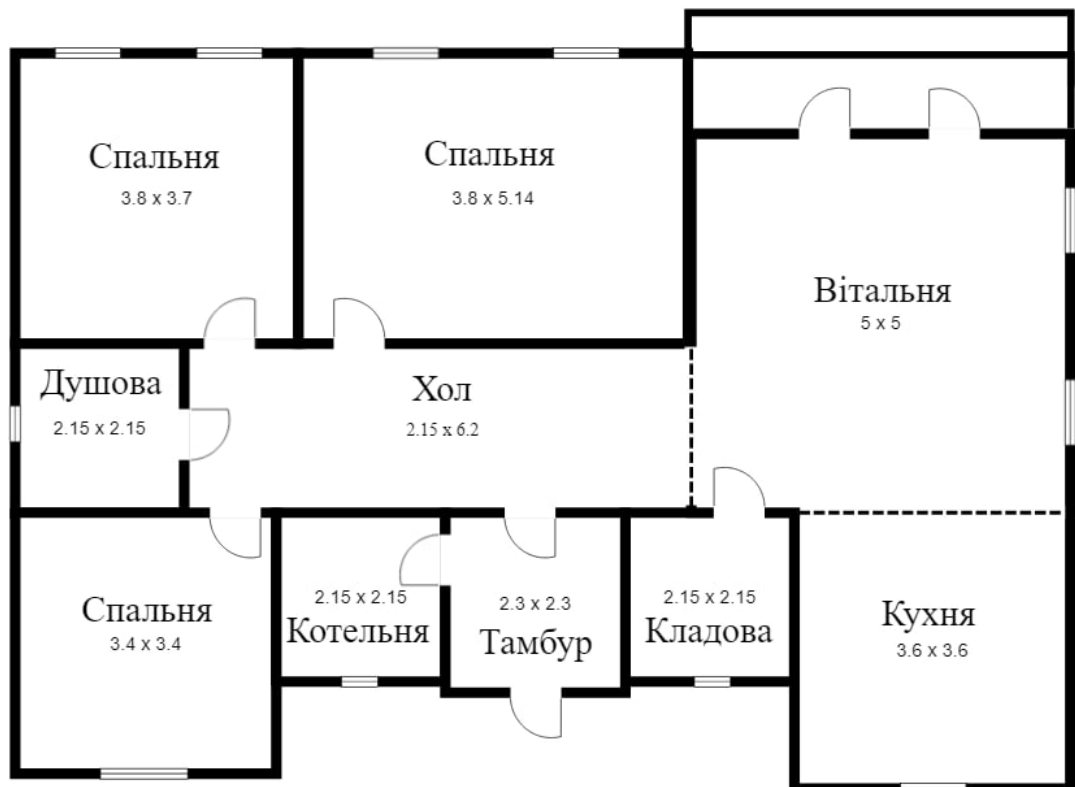


Рис. 1.3.2 – План будинку для якого будуть виконуватись розрахунки

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Для розрахунку контуру заземлення потрібна карта ґрунтів. Карта ґрунтів є важливою для розрахунку контуру заземлення, оскільки властивості ґрунту можуть суттєво впливати на ефективність заземлення та безпеку електричних пристроїв. Знання властивостей ґрунту дозволяє визначити питомий опір ґрунту, який, у свою чергу, впливає на вибір типу заземлення та параметри контуру заземлення. Наприклад, при використанні вертикальних електродів питомий опір ґрунту має бути досить малим для забезпечення низького значення електричного опору контуру заземлення. В іншому випадку для забезпечення необхідного значення заземлення може знадобитися збільшення довжини електродів або використання інших типів заземлення. Крім того, карта ґрунтів дозволяє враховувати місцеві особливості та умови експлуатації заземлення. Наприклад, у разі використання заземлення поблизу водойми або на схилі гори може знадобитися додатковий розрахунок, що враховує вплив води та ґрунтових переміщень на ефективність заземлення.

Я скористався онлайн картою [3] для визначення типу ґрунтів. З рис. 1.3.3 видно, що здебільшого біля міста Суми, де й розташована наша ділянка, переважають різні типи чорноземів. Однак це якщо казати про верхній шар ґрунту, його товщина в різних куточках України може бути різною і лежить в межах діапазону від декількох сантиметрів до 1,5 м. Середній показник близько 40 см. На нього я й буду орієнтуватися. Однак вертикальні заземлювачі мають довжину не менше 1,5 м і їх зазвичай заглиблюють на глибину 0,7 м від поверхні. Тому варто знати який нижній шар ґрунту. З цим складніше, однак з власного досвіду можу сказати, що в найгіршому випадку нижній шар ґрунту в тій місцевості більше схожий на пісок з глиною – супісок. Краще взяти більш складний випадок з сухим ґрунтом який має більший питомий опір та розрахувати й встановити більшу кількість електродів ніж навпаки недорахуватися та встановити меншу кількість ніж потрібно. В першому випадку контур заземлення свою роль виконувати буде, тоді як в другому – ні.

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

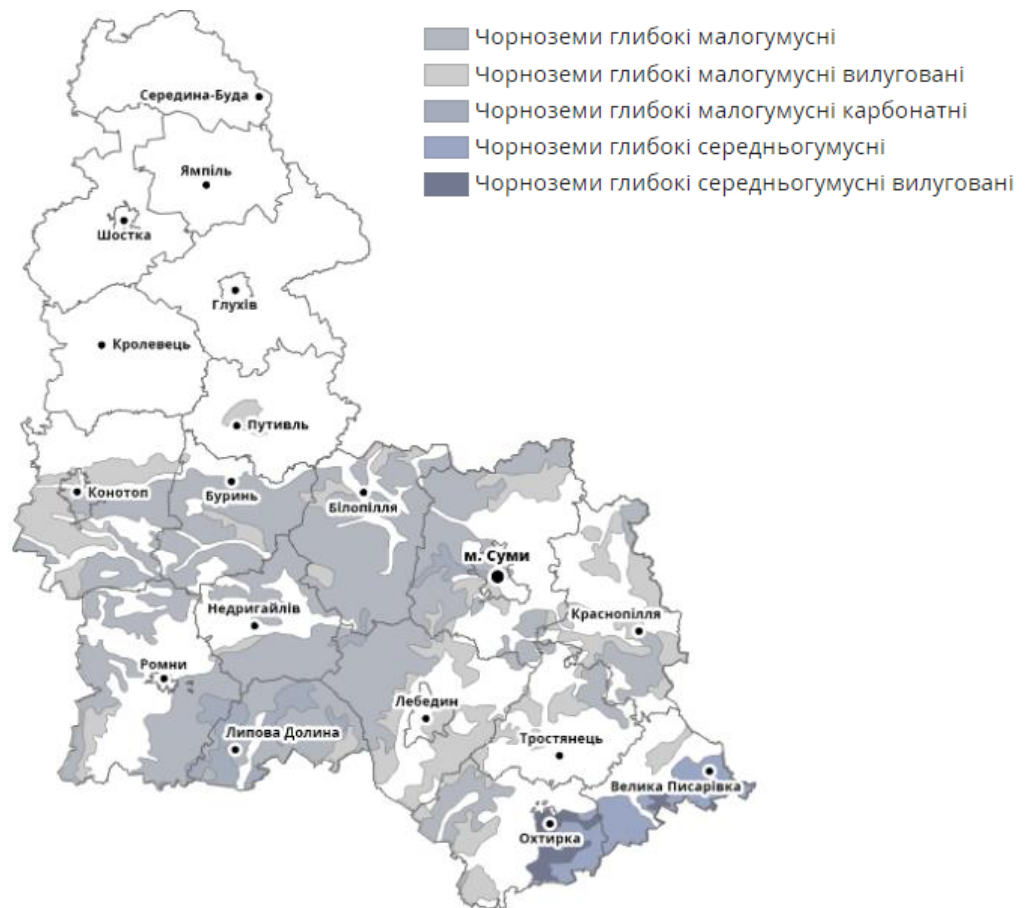


Рис.1.3.3 – Карта ґрунтів для Сумської області

Наступним етапом після розрахунку контуру заземлення йде грозозахист. Може знадобитися карта інтенсивності ударів блискавки наведена на рисунку 1.3.4 [4]. Карта інтенсивності ударів блискавки є необхідною при розрахунку грозозахисту будинку, оскільки вона дозволяє враховувати місцеві умови та ймовірність попадання блискавки у конкретну область. Знання інтенсивності ударів блискавки дозволяє визначити необхідні параметри грозозахисту, такі як кількість та розташування блискавковідводів та заземлюючих пристроїв. Наприклад, в областях з високою інтенсивністю ударів блискавки може знадобитися більша кількість блискавковідводів та заземлювальних пристроїв, щоб забезпечити ефективний захист. Таким чином, карта інтенсивності удару блискавки при розрахунку грозозахисту будинку є необхідним інструментом для забезпечення ефективною та безпечною роботи системи грозозахисту.

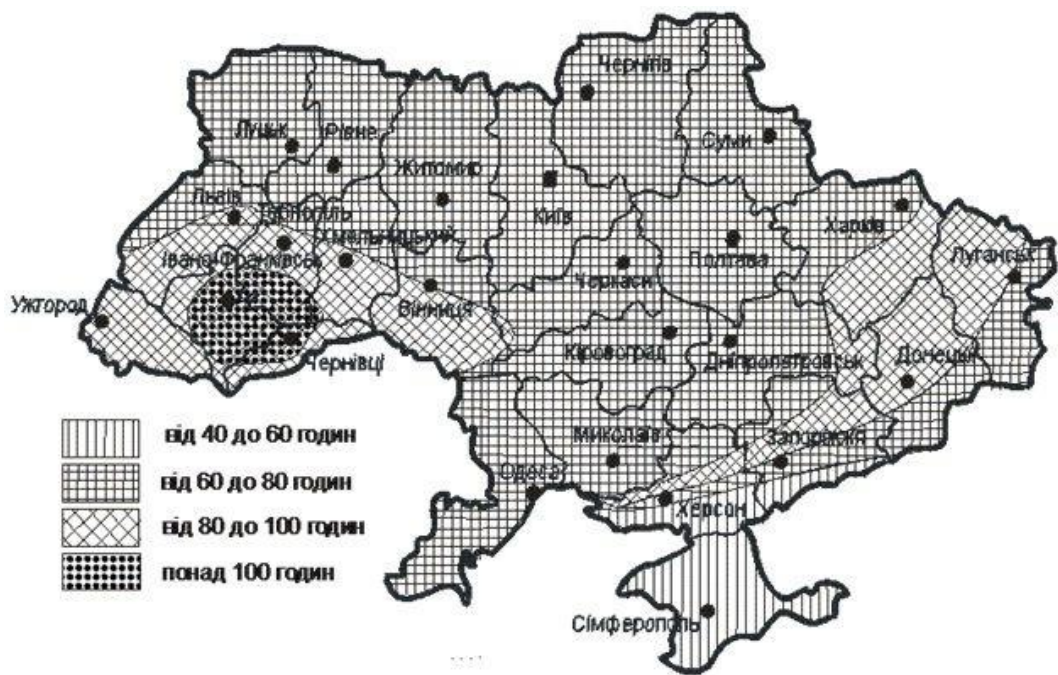


Рис. 1.3.4 – Карта інтенсивності ударів блискавки

Через те, що я планую встановлення сонячних панелей як альтернативне джерело живлення мені потрібні кліматичні дані для ділянки де вони власне будуть встановлені. На ефективну роботу сонячних панелей здебільшого впливають тривалість дня в різні періоди року, кількість днів з опадами, хмарністю, температура тощо. Чим коротший день, тим менше часу сонячні панелі мають для генерації електроенергії. Так в зимові місяці тривалість сонячного дня менша вдвічі в порівнянні з літніми місяцями. Тому важливо врахувати тривалість дня в різні періоди року при виборі місця для встановлення панелей. Дощі також можуть зменшити продуктивність сонячних панелей, особливо якщо вони тривають довгий період часу. Або якщо на небі багато хмар, сонячні панелі отримують менше сонячного випромінювання, тому їх продуктивність зменшується. Чим більше хмар на небі, тим менше сонячного світла падає на поверхню панелі й тим менше електрики вона генерує. Однак, навіть при хмарній погоді, сонячні панелі можуть продовжувати генерувати електроенергію, хоча із меншою ефективністю. Ефективність залежить від типу панелі (полікристалічна, монокристалічна чи гнучка). Висока температура, в свою чергу, може зменшувати продуктивність

сонячних панелей, оскільки вона збільшує опір матеріалів, з яких вони виготовлені. Тому в зимовий період окрім недоліків є свої переваги використання сонячних панелей. Сніг, наприклад, має гарну відображаючу здатність, а низька температура запобігає перегріванню. Враховуючи все вище сказане я зобразив всі необхідні дані на рис. 1.3.5 – 1.3.7 [5].

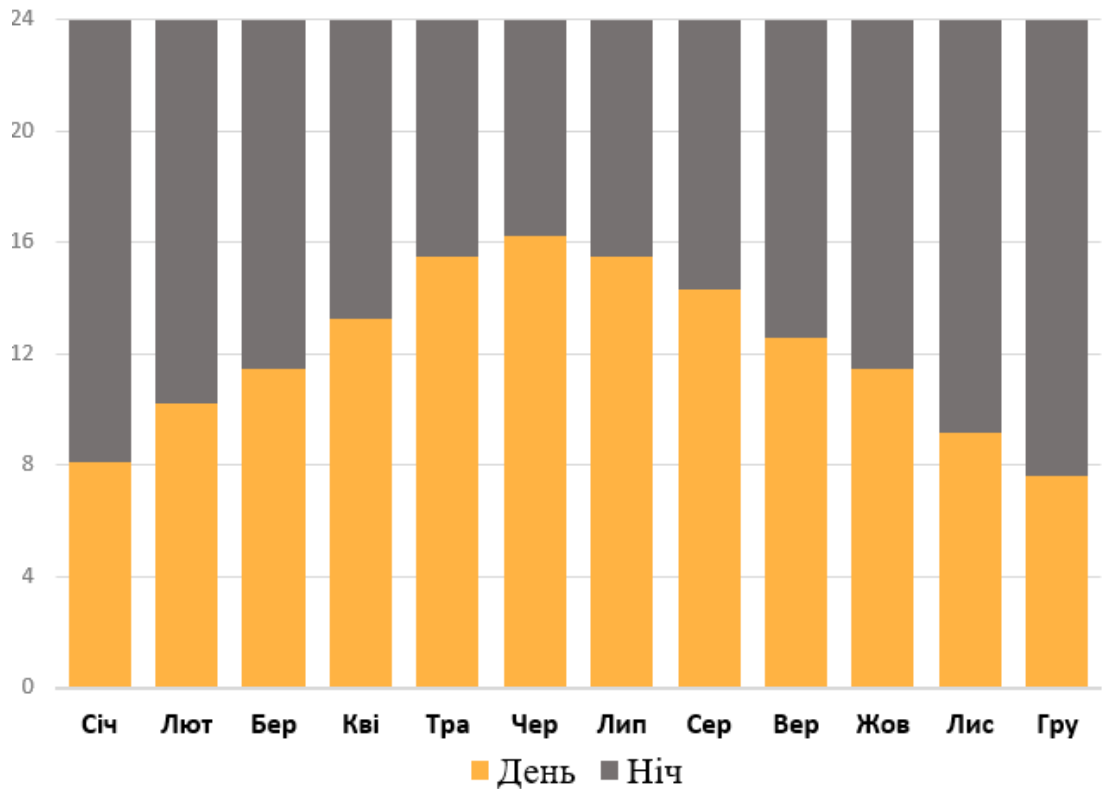


Рис. 1.3.5 – Середня тривалість світлового дня в різні пори року

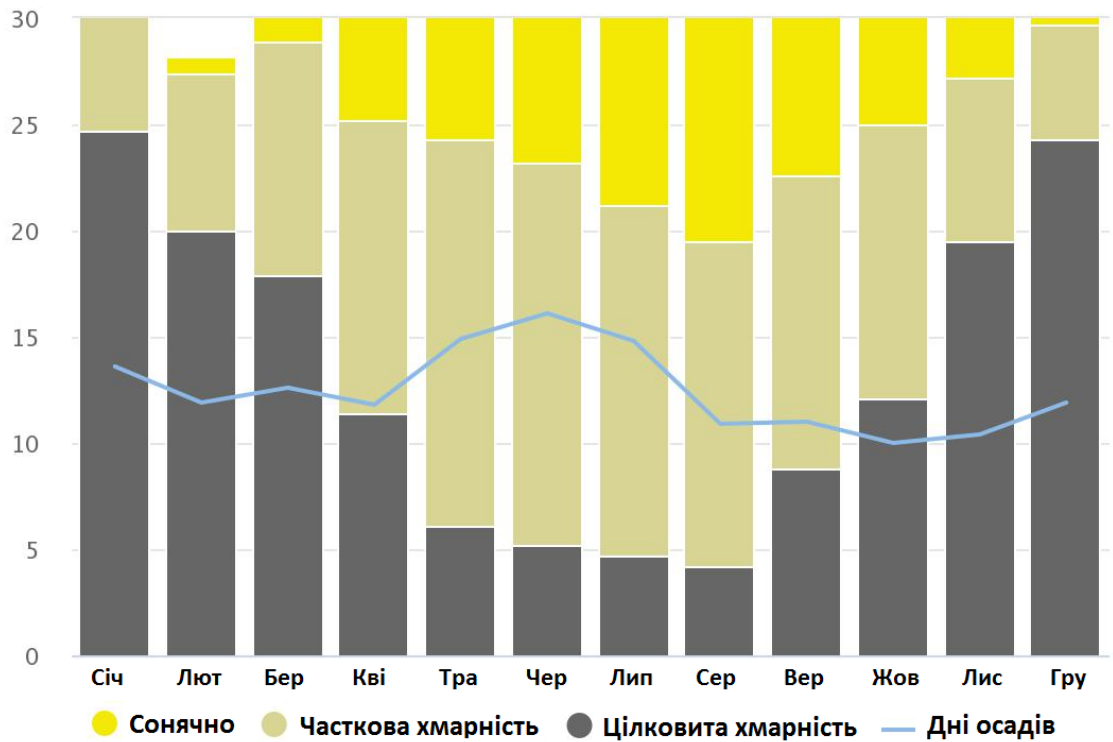


Рис. 1.3.6 – Кількість сонячних, хмарних та днів з опадами

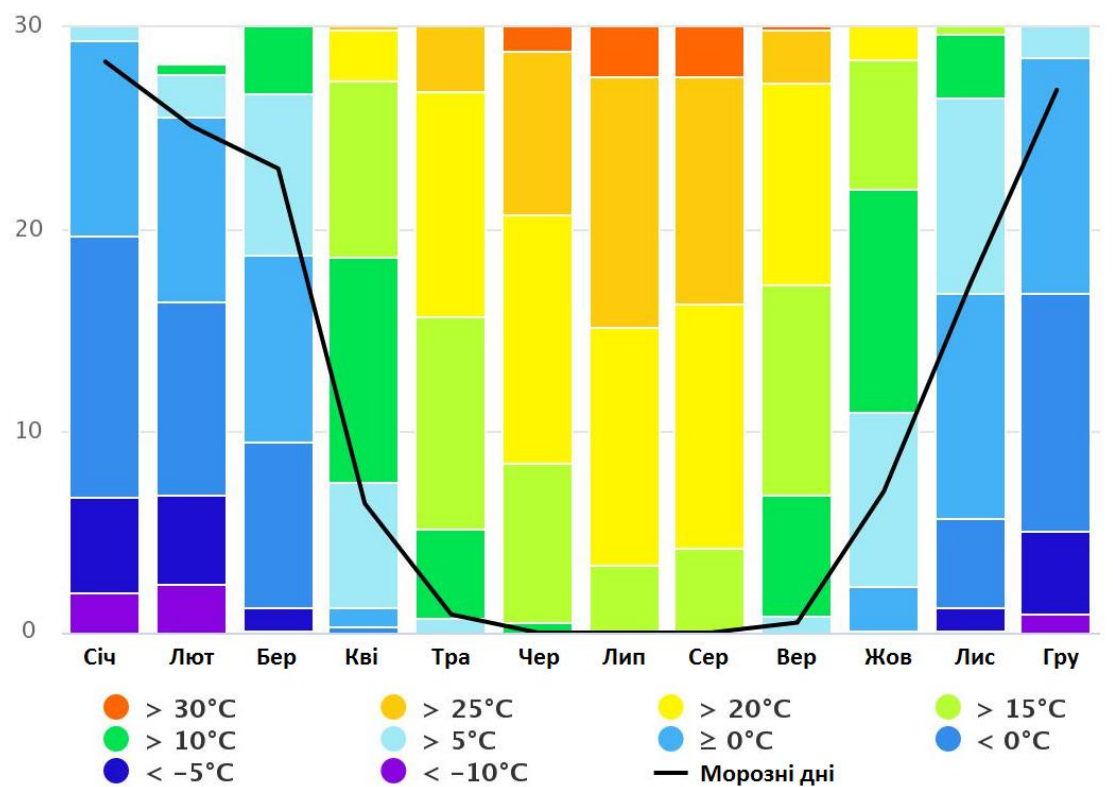


Рис. 1.3.7 – Максимальні температури

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-------	------	----------	--------	------

КП 3.6.14.1.141 ПЗ

Проте на генерацію СЕС більшою мірою впливає рівень інсоляції в регіоні. Чим цей показник вищий, тим більше може генерувати станція. На рис. 1.3.8 [6] зображена мапа України з нанесеним на неї горизонтальним рівнем сонячної інсоляції за період з 1994-2018 роки. Для Сумської області річний показний складає 1168 кВт/м², добовий 3,2 кВт/м². Що власне не дуже багато в порівнянні з центральними та південними регіонами України. Проте якщо порівнювати з Європейськими країнами тією ж самою Польщею або Німеччиною, то ці країни мають скромніший рівень сонячної інсоляції аніж Україна, однак кількість виробленої електроенергії на СЕС набагато більша.

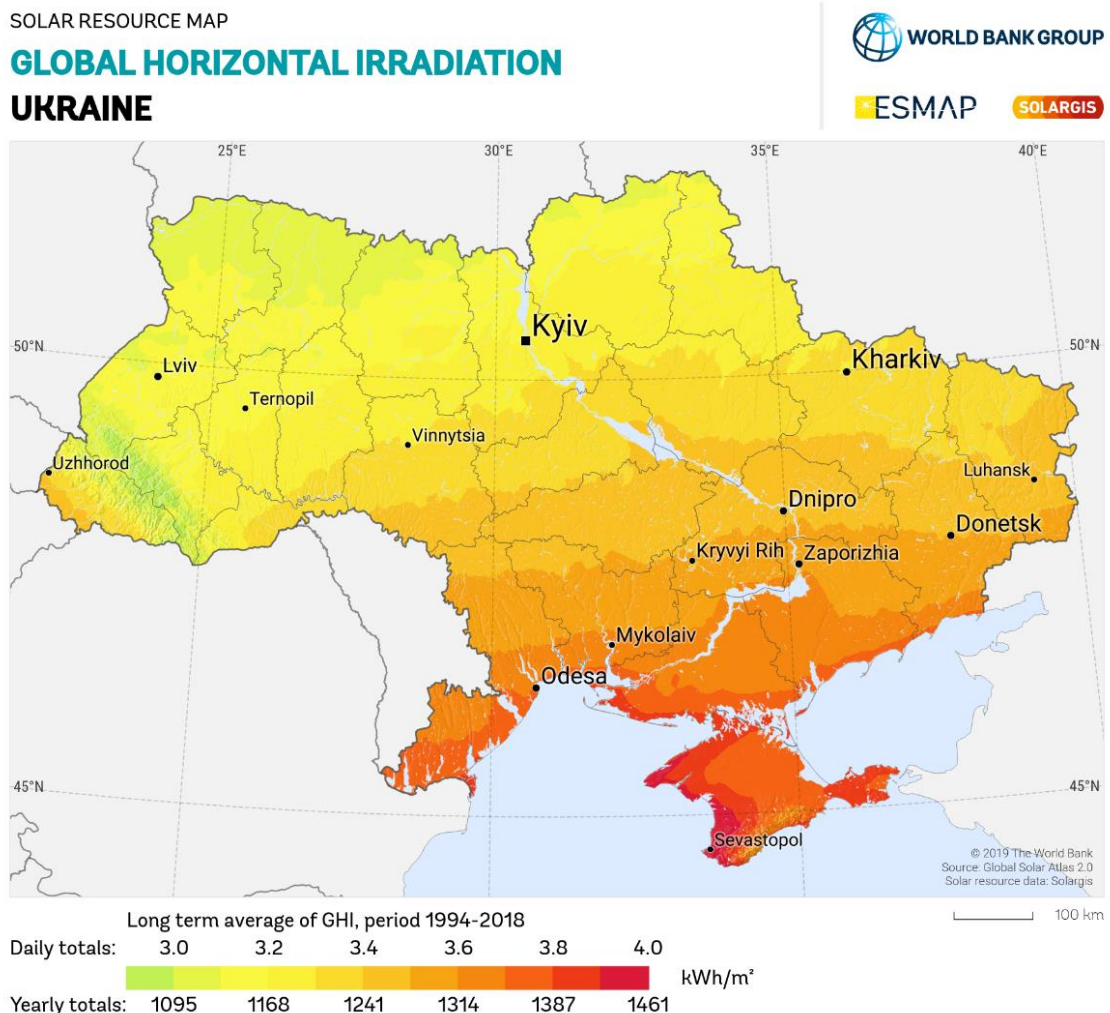


Рис. 1.3.8 – Мапа горизонтальної сонячної інсоляції України

РОЗДІЛ 2. ВИБІР ПЕРЕРІЗУ ПРОВІДНИКІВ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

2.1 Загальні вимоги для прокладання кабелів в житлових приміщеннях

Позначення

Різним конструкціям кабелів надано умовні буквено-цифрові позначення - марки. Першим у марці кабелю вказується матеріал струмопровідної жили: літера А (Алюмінієва), відсутність літери вказує на мідну жилу. Приналежність кабелю до контрольних позначається буквою К перед маркою при мідних жилах та після букви А при алюмінієвих.

- Після позначення матеріалу жили вказується матеріал ізоляції:
В - полівінілхлоридна; П - поліетиленова; Р - гумова. Відсутність літери вказує на паперову ізоляцію з нормальним просоченням.
- Літерне позначення оболонки ставиться після позначення ізоляції:
А - алюмінієва (гладка або гофрована); СТ - сталева гофрована; С – свинцева; Р - гумова; Н - з неритової гуми. Якщо кожній жилі є окрема оболонка, перед позначенням оболонки ставиться літера О.
- Відсутність броні та захисних покривів позначається буквою Г після позначення оболонки. Позначення броні ставиться після позначення оболонки такими літерами:
Б - броня з двох сталевих стрічок; П - із плоского сталевого оцинкованого дроту; К - з круглого сталевого оцинкованого дроту.
- Цифри після літерного позначення вказують число струмопровідних жил та їх перетин у мм².

Матеріал та переріз

У ПУЕ, другому розділі «ПЕРЕДАВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ» для застосування мідних або алюмінієвих дротів та їх перерізу говориться: «Таблиця 2.1.1 – Найменші перерізи струмовідних жил в електропроводці за умови

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ-денна	Арк.
						21
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

механічної міцності. У будівлях слід застосовувати кабелі та дроти для силових та освітлюваних ліній з мідними жилами з мінімальним перерізом 1,5 мм². Живильні та розподільчі мережі, як правило, повинні виконуватися кабелями та проводами з алюмінієвими жилами, якщо їх розрахунковий переріз дорівнює 16 мм² і більше.

Умови застосування та спосіб прокладання

Якщо кабель буде прокладений при температурі до -60°C, необхідно використовувати кабель із маркуванням ХЛ. Наприклад, ВВГ ХЛ, КВВГ ХЛ, КМ ХЛ. Кабелі з маркуванням НГ – зниженої горючості. Такі кабелі не розповсюджують горіння. За вимогами ПУЕ, якщо кабелі прокладені у пучках у кабель-каналі, лотку або іншим способом, то він має бути з маркуванням НГ. Приклад таких кабелів ВВГнг, КВВГнг, КГнг та ін.

ПУЕ п. 2.1.17. У кабельних спорудах, виробничих приміщеннях та електроприміщеннях для електропроводок слід застосовувати дроти та кабелі з оболонками тільки з важко горючих або негорючих матеріалів, а незахищені дроти з ізоляцією тільки з матеріалів, що важко загоряються або вогнетривких.

- Кабелі з маркуванням НГ (LS - Low Smoke), крім того, що не розповсюджують горіння, вони мають низьке димовиділення при горінні.
- Кабель FR-LS – пожежобезпечний кабель. Може функціонувати при пожежі на об'єкті 3 години та більше.
- Кабель FR-HF – пожежобезпечний кабель, що не виділяє хлору при горінні.
- Кабелі з індексом LTx - не розповсюджують горіння при груповій прокладці, зниженим димо- та газовиділенням і з низькою токсичністю продуктів горіння, не виділяють корозійно-активні газоподібні продукти при горінні та тлінні.

Деякі посилання з останніх ГОСТів з пожежної безпеки, в яких йдеться про застосування даних кабелів: за ГОСТ Р 53315-2009:

- кабелі НГ застосовуються у відкритих кабельних спорудах (естакадах, галереях) зовнішніх електроустановок;

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

- кабелі LS застосовуються у внутрішніх електроустановках, а також у будинках, спорудах та закритих кабельних спорудах;
- кабелі FRLS застосовуються в системах протипожежного захисту та інших системах, які мають зберігати працездатність за умов пожежі;
- кабелі LSLTx застосовуються в будівлях дитячих дошкільних та освітніх установ, спеціалізованих будинках для людей похилого віку та інвалідів, лікарнях, спальних корпусах освітніх установ інтернатного типу та дитячих установ;
- і, нарешті, найстійкіші та найбезпечніші кабелі FRLTx та FRHFLTx застосовуються у системах протипожежного захисту, а також в інших системах, які мають зберігати працездатність в умовах пожежі, у будинках дитячих дошкільних освітніх установ, спеціалізованих будинках для людей похилого віку та інвалідів, лікарнях, спальних корпусах освітніх установ інтернатного типу та дитячих установ.

Колір проводів

ПУЕ: 2.1.31. Електропроводка повинна відповідати умовам довкілля, призначенню та цінності споруд, їх конструкції та архітектурним особливостям. Електропроводка повинна забезпечувати можливість легкого розпізнавання по всій довжині провідників за кольорами:

- блакитного кольору - для позначення нульового робочого або середнього провідника електричної мережі;
- двоколірної комбінації зелено-жовтого кольору - для позначення захисного або нульового захисного провідника;
- двоколірної комбінації зелено-жовтого кольору по всій довжині з блакитними мітками на кінцях лінії, що наносяться при монтажі - для позначення суміщеного нульового робочого та нульового захисного провідника;
- чорного, коричневого, червоного, фіолетового, сірого, рожевого, білого, оранжевого, бірюзового кольору - для позначення фазного провідника.

Загальноприйняте колірне маркування проводів у три провідній мережі: фази

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
						23
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

А, В та С – білий, чорний та червоний відповідно, N – нейтраль – синій, PN – заземлення – жовто-зелений. Найчастіше саме так і маркується, але бувають і інші варіанти [7].

Установлення вимикачів та розеток прихованої та відкритої електропроводки

Спочатку варто згадати правила з ПУЕ для встановлення відкритих та прихованих проводок:

7.1.37. Електропроводку в приміщеннях слід виконувати: приховано - в каналах будівельних конструкцій, монолітних трубах; відкрито - в електротехнічних плінтусах, коробах тощо. У технічних поверхах, підпіллях, підвалах без опалення, горищах, вентиляційних камерах, сирих і особливо сирих приміщеннях електропроводку рекомендується виконувати відкрито. У будівлях з будівельними конструкціями, виконаними з негорючих матеріалів, допускається незмінна монолітна прокладка групових мереж у борознах стін, перегородок, перекриттів, під штукатуркою, у шарі підготовки підлоги або у порожнечах будівельних конструкцій, що виконується кабелем або ізольованими проводами в захисній оболонці. Застосування незмінної замоноліченої прокладки проводів у панелях стін, перегородок та перекриттів, виконаної при їх виготовленні на заводах буд індустрії або виконуваної в монтажних стиках панелей при монтажі будівель, не допускається.

7.1.38. Електричні мережі, що прокладаються за непрохідними підвісними стелями та в перегородках, розглядаються як приховані електропроводки та їх слід виконувати: за стелями та в порожнинах перегородок з горючих матеріалів у металевих трубах, що володіють локалізаційною здатністю, та у закритих коробах; за стелями та у перегородках з негорючих матеріалів* — у виконаних з негорючих матеріалів трубах та коробах, а також кабелями, що не розповсюджують горіння. При цьому має бути забезпечена можливість заміни дротів та кабелів.

7.1.39. У приміщеннях для приготування їжі, за винятком кухонь квартир, допускається відкрита прокладка кабелів. Відкрите прокладання проводів у цих

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
						24
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приміщеннях не допускається. У кухнях квартир можуть застосовуватися ті ж види електропроводок, що й у житлових кімнатах та коридорах.

Відповідно до ПУЕ регламентуються також:

- норми за кількістю розеток на одну кімнату;
- відстані, на яких розетки та вимикачі повинні розміщуватися по
- відношенню до підлоги та комунікацій;
- норми прокладання проводів (вертикальні та горизонтальні ділянки).

Тому можна навести деякі загальні дані по встановленню вимикачів та розеток:

- висота від підлоги до вимикача приймається 0,6-1,5 м, при цьому його встановлюють так, щоб двері не заважали доступу;
- висоту установки розеток приймають 0,5-0,8 м від рівня підлоги, щоб запобігти попаданню води при затопленні;
- відстань від розетки до газової чи електроплити, інших комунікацій має становити щонайменше 0,5 м;
- прокладання електропроводки допускається лише вертикально чи горизонтально, обов'язково складається схема проводки.
- норми рекомендують наступний принцип розрахунку оптимальної кількості розеток: кожні 6 м² – 1 розетка. Від цього правила можна відступити до кухні, повинно бути не менш як 3 розетки [8].

2.2 Розрахунок перерізу кабелів для електроприймачів та освітлення

Для розрахунку перерізу кабелю зазвичай використовують пікову миттєву потужність всіх електроприладів які можуть одночасно бути включені. Тобто найбільше навантаження на мережу. Дані наведені в табл. 1.1 розділ 1. Пікова потужність згідно таблиці вийшла 50,450 кВт. Що майже нереально з точки зору логіки. Адже всі електроприлади не можуть одразу бути включені, а витратити зайві кошти на дорогі матеріали теж не хочеться. Тому з цією метою використовують коефіцієнт попиту який вказує на можливість одночасного ввімкнення всіх приладів. За замовчуванням як я вже казав він дорівнює $k_{\Pi} = 1$. На практиці це

					КП 3.6.141.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

значення згідно з ДБН В.2.5-23 для житлових приміщень коефіцієнт попиту прийнятий на рівні 0,8 для двох споживачів, 0,75 – для трьох та 0,7 – для п'яти і більше. Згідно Правил роздрібного ринку електричної енергії коефіцієнт використання (попиту) для одного споживача знаходиться за табл. 2.2.1. Питоме навантаження будинку знаходиться за формулою:

$$P_{П.Б} = P_{УСТ} * K_{П} \quad (2.2.1)$$

де $P_{УСТ}$ – це загальна найбільша потужність споживачів ввімкнених одночасно, кВт;

$K_{П}$ – коефіцієнт попиту, вказує на можливість одночасного ввімкнення всіх приладів.

Так як в мене є й електроплита й електроопалення, то розрахунок буде проводитися для зимового періоду, найбільш навантаженого, розрахункове значення потужності:

$$P_{П.Б} = P_{УСТ} * K_{П} = 50,450 * 0,6 = 30,270 \text{ кВт}$$

Таблиця 2.2.1 – Коефіцієнт використання потужності

Тип помешкання	$K_{П}$
Квартира, окремих будинок або інший об'єкт споживача, не обладнаний ні електроопаленням, ні стаціонарною електроплитою	0,2
Квартира, окремих будинок або інший об'єкт споживача, який обладнаний електроплитою	0,3
Квартира, окремих будинок або інший об'єкт споживача, який обладнаний електроопаленням	0,1 (у період з 01 травня до 30 вересня) 0,6 (у період з 01 жовтня до 30 квітня)
Квартира, окремих будинок або інший об'єкт споживача, обладнаний електроопаленням, та стаціонарною електроплитою	0,2 (у період з 01 травня до 30 вересня) 0,6 (у період з 01 жовтня до 30 квітня)

Реактивне навантаження знайдемо з наступної формули:

$$Q_{Б} = P_{Б} * \tan(\varphi) \quad (2.2.2)$$

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
						26
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $\tan(\varphi)$ – знаходять з коефіцієнта потужності який наведений в таблиці 2.2.2. Для приміщень з електричними плитами та побутовими кондиціонерами $\cos(\varphi) = 0,93$.

Таблиця 2.2.2 – Коефіцієнт потужності

квартири з електричними плитами	0,98
те саме, проте з встановленими кондиціонерами	0,93
квартири з газовими плитами або твердому палеві	0,96
те саме, проте з встановленими кондиціонерами	0,92
загальне освітлення в гуртожитку коридорного типу	0,95
насоси, вентиляційні установки та інші санітарно-технічні пристрої	0,8
ліфти	0,65

$$Q_B = P_B * \tan(\varphi) = P_B * \sqrt{\frac{1}{\cos(\varphi)^2} - 1} = 30\,270 * 0,4 = 12\,108 \text{ кВАр}$$

Повне навантаження знаходиться за наступною формулою:

$$S_B = \sqrt{P_B^2 + Q_B^2} \quad (2.2.3)$$

Тоді повне навантаження буде дорівнювати:

$$S_B = \sqrt{P_B^2 + Q_B^2} = \sqrt{30270^2 + 12108^2} = 32\,602 \text{ кВА}$$

Розрахункова сила струму знаходиться за наступною формулою:

$$I = \frac{S_B}{U_{НОМ} * \sqrt{3}} \quad (2.2.4)$$

Отже, сила струму буде дорівнювати:

$$I = \frac{S_B}{U_{НОМ} * \sqrt{3}} = \frac{32602}{380 * \sqrt{3}} = 49,5 \text{ А}$$

Тобто ввідний 4 жильний кабель прокладений від стовпа до лічильника повинен витримувати струм 49,5 А на кожну фазу. З цією задачею гарно впорається кабель СІП-4 4х16 який витримує струм 70 А та підходить за механічною міцністю. Проте це питання залежить не від споживача. Було б гарно якщо СІП, але може бути прокладений й неізолюваний провід. Умовно кажучи, СІП або інший кабель буде прокладений зі стовпа до щита обліку. Від щита обліку до будинку буде йти кабель АВБШв 4х16 з захистом від механічних пошкоджень. Прокладати кабель до будинку найкраще по зовнішній стіні в пластиковому коробі або гофротрубі аж до розподільного щита.

Далі живлення будинку відбувається наступним чином:

- За розрахунковим струмом, згідно таблиці 2.2.3 та формули 2.2.4, для електроопалення достатньо перерізу 4 мм², однак згідно технічної рекомендації рекомендовано 6 мм², отже буде взятий кабель ВВГ 5х6 мм²:

$$I_B = \frac{P_{MAX}}{\sqrt{3} * U_{НОМ}} = \frac{15000}{\sqrt{3} * 380} = 39,4 \text{ А}$$

- Для електроплити за трифазного живлення достатньо перерізу 1,0 мм², однак задля механічної міцності беремо 1,5 мм² тому підходить ВВГ 5х1,5 мм²:

$$I_B = \frac{P_{MAX}}{\sqrt{3} * U_{НОМ}} = \frac{8000}{\sqrt{3} * 380} = 12,2 \text{ А}$$

- Розетки зазвичай виконують номіналом на 10 та 16 А, тому загальна мережа може бути виконана кабелем ВВГ 3х2,5 мм² так як живить щонайменше дві кімнати, а окремі розетки підключені кабелем ВВГ 3х1,5 мм². Так як живлення трифазне, можна кожну фазу пустити окремо на кожну кімнату, власне що я й планую зробити. Рівномірно розподілити навантаження.

$$P_p = I_p * U_{\phi} = 16 * 220 = 3520 \text{ Вт}$$

- Освітлення виконане з 13 точкових світильників по 2 енергозберігаючі лампочки потужністю по 10 Вт у кожному. Для освітлення і вимикачів загальна мережа ВВГ 3х1,5 мм², окремі світильники достатньо ВВГ 3х1,0 мм². Так 1,0 мм² не задовольняє мінімальним умовам механічної міцності, проте

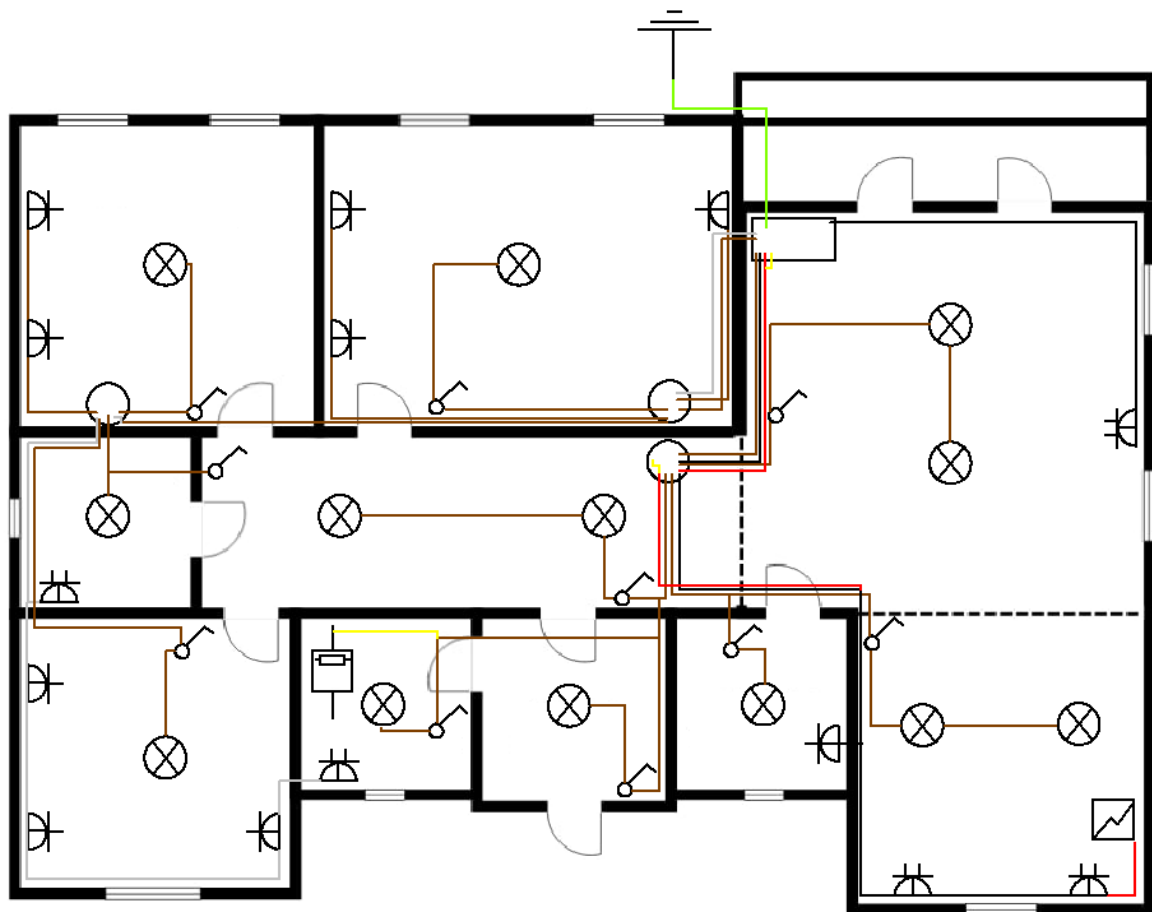
					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

кабель буде прокладений в недосяжному місці, і після монтування чіпатися не буде, тому я вважаю це не буде проблемою. Ще менше переріз брати не потрібно задля забезпечення механічної міцності.

Таблиця 2.2.3 – Переріз кабелів в залежності від типу проводки

Переріз кабелю, мм ²	Проводка з мідними жилами			Проводка з алюмінієвими жилами		
	Струм, А	Потужність, кВт за однофазної мережі	Потужність, кВт за трифазної мережі	Струм, А	Потужність, кВт за однофазної мережі	Потужність, кВт за трифазної мережі
0,5	11	2,4	-	-	-	-
0,75	15	3,3	-	-	-	-
1,0	17	3,7	6,4	-	-	-
1,5	23	5,0	8,7	-	-	-
2,0	26	5,7	9,8	21	4,6	7,9
2,5	30	6,6	11,0	24	5,2	9,1
4,0	41	9,0	15,0	32	7,0	12,0
6,0	50	11,0	19,0	39	8,5	14,0
10,0	80	17,0	30,0	60	13,0	22,0
16,0	100	22,0	38,0	75	16,0	28,0
25,0	140	30,0	53,0	100	23,0	39,0

Можна використовувати інші кабелі з іншою ізоляцією гнучкий або плоский кабель типу ШВП або ВВП або ПВС, однак у ВВГ найтовстіша захисна ізоляція та найбільший термін служби – 30 років.



- Фаза А — Фаза В — Фаза С — РЕ
— Окрема лінія для опалення — Окрема лінія для плити

Рис. 2.2.1 – Електрична схема будинку

На рисунку 2.2.1 наведена електрична схема будинку з прокладеними кабелями, вмонтованими розетами та вимикачами. Навантаження розподілене між фазами, щоб не було перекосу фаз. Фаза А живить все освітлення в будинку та дві спальні кімнати, фаза В живить кухню, залу та одну розетку в підсобці, фаза С – решту розеток у ванній кімнаті, спальні, котельні.

Окремо від щитка прокладено лінію для електрокотла та електроплити відповідно. Також на схемі зображений РЕ провідник який ще не підключений до контуру заземлення, однак контур заземлення буде встановлений приблизно в тому місці, а кабель РЕ буде прокладений за зображеним на схемі маршрутом. Усі схематичні позначення наведені в таблиці 2.2.4.

					КП 3.6.141.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Таблиця 2.2.4 – Схематичні позначення, що зображені на рисунку 2.2.1

Схематичне позначення	Найменування
	Розподільний ввідний щит
	Розподільна коробка
	Двополюсна подвійна розетка з захисним контактом
	Двополюсна розетка з захисним контактом
	Однополюсний вимикач
	Лампа освітлювальна
	Заземлення
	Електроплита
	Електроротел

2.3 Загальні вимоги для встановлення апаратів захисту

Згідно ПУЕ п.3.1.3 нижче наведені терміни необхідні для визначення позначених ними понять:

АВТОМАТИЧНИЙ ВИМИКАЧ – контактний комутаційний апарат, здатний вмикати, проводити електричну енергію та вимикати струми за нормальних умов у колі, а також вмикати, проводити протягом заданого часу та вимикати струми за обумовлених аномальних умов у колі, наприклад коротке замикання (ДСТУ ІЕС 60947-1).

СТРУМ УСТАВКИ – Значення струму у головному колі, з характеристиками реле або розчіплювача, на які відрегульовано реле чи розчіплювач (ДСТУ ІЕС 60947-1).

ПЛАВКА ВСТАВКА – струмовідна частина запобіжника, що руйнується під дією струму, який перевищує певне значення протягом визначеного часу (ДСТУ ІЕС 60947-1).

СТРУМ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ – надструм в електричному колі в разі короткого замикання (ІЕС 60364-1)

СТРУМ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ – надструм, який може мати місце в непошкодженому електричному колі внаслідок аномального електричного навантаження (перевантаження) або в пошкодженому електричному колі з великим повним опором (ІЕС 60364-1)

ЗАХИСНИЙ ПРИСТРІЙ ДИФЕРЕНЦІЙНОГО СТРУМУ – пристрій, який реагує на диференційний струм (ДСТУ ІЕС 60947-1)

ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ СТРУМ – алгебраїчна сума миттєвих значень сил струмів у певній точці кола електроустановки (ІЕС 60364-1)

СТРУМ ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ – електричний струм, що протікає в землю, відкриті і сторонні провідні частини та захисний провідник у разі пошкодження ізоляції струмовідної частини, яка перебуває під напругою (ІЕС 60364-1)

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

РОЗПОДІЛЬНА ЕЛЕКТРИЧНА МЕРЕЖА – низьковольтна електрична мережа, яка складається з джерел живлення і ліній електропередавання та призначена для живлення електроустановок будівель та інших низьковольтних електроустановок (ІЕС 60364-1). У такій мережі можна виділити: живильні (розподільні) кола, від яких отримують живлення розподільні пристрої (пункти, щити, щитки) в будинках, будівлях і спорудах; групові (кінцеві) кола, які є частиною розподільної мережі від розподільних пристроїв (пунктів, щитів, щитків) до електроприймачів та розеток

Згідно ПУЕ п.3.1.6 Електрообладнання електричних мереж напругою до 1 кВ має відповідати вимогам Технічного регламенту низьковольтного електричного обладнання. Захист електричної мережі напругою до 1 кВ змінного струму необхідно улаштовувати так, щоб одночасно виконувалися такі вимоги: – електрична мережа має проводити струм повного розрахункового навантаження протягом необмеженого часу; – електрична мережа має проводити передбачений струм короткочасного перевантаження (пуск електродвигунів, вмикання трансформаторів і електронагрівальних пристроїв тощо) протягом часу, за який струмовідні частини та ізоляція не нагріваються понад допустимі температури; – електрична мережа повністю або її частина мають вимикатися за визначений проміжок часу, якщо вона може створювати загрозу для майна або здоров'я людей і свійських тварин.

3.1.14 Апарати захисту від струмів перевантаження повинні вимикати будь який струм перевантаження раніше, ніж такий струм може викликати підвищення температури провідників, небезпечне для ізоляції, з'єднань, затискачів і навколишнього середовища. Апарати захисту від струмів КЗ повинні вимикати будь який струм КЗ раніше, ніж такий струм може викликати небезпеку внаслідок теплових і механічних дій на провідники та їх з'єднання.

3.1.17 Для забезпечення селективності пристрої захисту від струму КЗ треба вибирати таким чином, щоб струм КЗ, який виникає у будь-якому колі цієї мережі, можна було вимикати пристроєм захисту в колі, в якому виникло пошкодження, без

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

будь-якої дії на інші кола мережі. Для вимикання струму КЗ застосовують електромагнітні (термомагнітні, електронні) розчіплювачі автоматичного вимикача або запобіжники. Час вимикання КЗ має бути мінімальним.

3.1.18 У разі пошкодження ізоляції і виникнення струму замикання на землю час вимикання для електроустановок з типами системи TN, TT і IT має бути не більше, ніж унормовано в пункті 1.7.82.

1.7.82 У системі TN і TT час автоматичного вимкнення живлення в кінцевих колах з робочим струмом до 32 А не має перевищувати значень, зазначених у табл. 1.7.1.

Таблиця 1.7.1 – Найбільший допустимий час захисного автоматичного вимкнення живлення в кінцевих колах з робочим струмом до 32 А для електроустановок із системою заземлення TN і TT

Номінальна напруга U_0 , В, між лінійним провідником і землею	Час вимкнення, с, в електроустановках			
	змінного струму для системи		постійного струму для системи	
	TN	TT	TN	TT
$50 < U_0 \leq 127$	0,8	0,3	-	-
$127 < U_0 \leq 230$	0,4	0,2	5,0	0,4
$230 < U_0 \leq 400$	0,2	0,07	0,4	0,2
$U_0 > 400$	0,1	0,04	0,1	0,1

Для розподільних кіл системи TN час захисного автоматичного вимикання допускається таким, що не перевищує 5 с. У системі TT для кінцевих кіл з робочим струмом понад 32 А та розподільних кіл час відключення допускається таким, що не перевищує 1 с.

3.1.19 Для вимикання струму перевантаження використовують теплові розчіплювачі автоматичних вимикачів, запобіжники та теплові або електронні реле з контакторами.

3.1.20 Для захисту від ураження електричним струмом людей і свійських тварин унаслідок пошкодження ізоляції застосовують пристрої захисту від

надструмів і пристрої, які реагують на диференційний струм. Застосовувати останні потрібно з урахуванням типу системи електроустановки (TN-C, TN-S, IT, TT).

3.1.32 У розподільних мережах, які захищають від струмів перевантажень, провідники треба вибирати за найбільшою розрахунковою силою струму. Мережу можна вважати захищеною від струмів перевантажень, якщо одночасно виконано умови:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z, \quad (2.3.1)$$

$$I_2 \leq k \cdot I_Z, \quad (2.3.2)$$

де I_B – найбільша розрахункова сила струму навантаження, А;

I_N – номінальна сила струму апарата захисту, А (для апаратів захисту з регульованими характеристиками номінальною силою струму є сила струму обраної уставки);

I_Z – тривало - допустима сила струму кабелю (проводу), А;

I_2 – сила струму, яка забезпечує надійне спрацювання апарата захисту, А;

k – коефіцієнт: $k = 1,45$ – у разі захисту мережі плавкими запобіжниками; $k = 1,3$ – у разі захисту мережі автоматичними вимикачами з тепловими розчіплювачами; $k = 1,15$ – у разі захисту мережі автоматичними вимикачами з електронними розчіплювачами [1].

Класифікація автоматичних вимикачів

Класифікація автоматичних вимикачів здійснюється за час-струмовою характеристикою. Отже, час-струмова характеристика автоматичних вимикачів, така характеристика, що дає можливість індивідуального підбору захисту до кожного приладу або лінії.

Тип "В". В автоматичному вимикачі такого типу спрацювання налаштування магнітного розчіплювача встановлено в межах $3 \div 5$ Іномінального значення автомата. Автоматичні вимикачі з характеристикою відключення «В» здатні захищати від струму короткого замикання з малим значенням і підійдуть для установки практично у всіх випадках, де на лінії немає пристроїв з великими пусковими струмами. Захист освітлення, бойлерів, нагрівальних приладів,

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

електрочайника, тостера, побутових електричних плит та інших електроприладів за винятком електроприладів, де присутні електродвигуни, насоси.

Тип "С". Автоматичний вимикач характеристики відключення, у якого тип С налаштування $5 \div 10$ від I_N значення. У сучасних квартирах і будинках практично скрізь стоять автоматичні вимикачі з такою характеристикою.

Це обумовлено тим, що автомат з такими налаштуваннями здатний надійно захищати лінії практично з усіма електроприладами, включаючи прилади, де при старті включення з'являються великі пускові струми (прилади в конструкції яких є електродвигуни, велика кількість дроселів тощо). Наприклад, побутові електроприлади з великими пусковими струмами: пральна машина, порохотяг, холодильник, блендер тощо.

Тип "D". Категорія автоматичних вимикачів з характеристикою D призначена для захисту електричних двигунів в однофазній та трифазній мережі. Це пристрої захисту з більш грубими налаштуваннями чутливості до струмів короткого замикання: від 10 до 20 I_N значення [9].

Інші типи автоматичних вимикачів, включаючи «D», не використовуються у побутових споживачів. Тому сенсу розглядати їх нема.

Кількість полюсів

За трифазного живлення автоматичні вимикачі можуть бути як триполюсні, так і чотириполюсні. Триполюсні потрібні за системи живлення TN-C-S, коли провідник PEN, що йде від підстанції, на вході в будинок розділяється на PE та N і з'єднується між собою перемичкою. За такого живлення відключення нульового провідника N захисним автоматом забороняється. У випадку коли система заземлення TN-S, коли робочий та захисний провідник розділені на всьому проміжку, дозволено розривання нульового провідника захисним пристроєм. За системи заземлення TT, PEN провідник виконує функцію тільки робочого нульового провідника – N. PE провідник в цьому випадку свій і він не з'єднаний з шиною N. Отже, можна ставити дво (2р) і чотириполюсні (4р) вимикачі.

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

2.4 Вибір електричних апаратів захисту

Підсумовуючи все вище написане можна сказати наступне. По-перше, для правильного вибору захисного автомата, потрібно розраховувати струми КЗ, що власне й регламентовано в ПУЕ. Однак варто зазначити, що зазвичай струми КЗ мають дуже великі значення і в більшості випадків достатньо вибрати автомат захисту лише за номінальним струмом спрацювання. З цієї ж самої причини мова про селективність йти не може. Адже який струм там не був би встановлений, при КЗ виб'є всі автомати в будинку. Автомати для яких селективність не порожній звук дуже дорого вартісні та встановлюються в інших місцях де це справді потрібно. Буває навпаки коли струму КЗ навпаки недостатньо для спрацювання апарату захисту навіть за тепловим розчеплювачем. В цьому й перевага системи заземлення ТТ, обов'язковою умовою захисту якої окрім автоматичних вимикачів є встановлення ПЗВ. По-друге, для розрахунку струмів КЗ потрібно мати дані, які для звичайного споживача недоступні. Виміри петлі «фаза-нуль» повинна проводити спеціальна лабораторія і вже потім робити якісь висновки до встановлення типу апарату.

По-третє, апарати захисту будуть встановлені з маркуванням «С», адже за маркування «В» існує варіант, що при ввімкненні тієї ж самої пральної машини, його просто виб'є. Однак автомати захисту з маркуванням «В» можуть бути встановлені, де якраз значень струмів КЗ може бути не достатньо для правильного спрацювання захисту. Тоді саме ці апарати можуть забезпечити достатню чутливість для надійного захисту. Я вважаю в цьому випадку на себе цю роль візьме ПЗВ.

Також варто зазначити чому я використав поєднання ПЗВ та автоматичний вимикач замість диференційних автоматів. Причин насправді багато. Перше, це те, що вартість диференційного автомата більша за вартість ПЗВ й автоматичного вимикача. Якщо це не так, то скоріш за все якість такого апарату нижча. Друге, якщо диференційний автомат вийде з ладу, замінити його потрібно повністю, це дорожче ніж замінити той самий вимикач або ПЗВ, що навряд чи вийдуть з ладу

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

одночасно. До того ж на час заміни лінія залишиться вважай без захисту. Третє, якщо диференційний автомат спрацює, за ним важко зрозуміти чому саме він спрацював. З окремими приладами такої проблеми не має. Якщо спрацював автоматичний вимикач і після ввімкнення одразу вимикається – шукаємо КЗ. Якщо спрацював і не вимикається деякий час – отже перевантаження. Якщо спрацював ПЗВ – наявний струм витоку. Однак все це не означає, що варто категорично відмовлятися від диференційних автоматів. Вони, наприклад, краще працюють якщо встановити їх на одного окремого споживача, до того займають менше місця в щиті. Однак в даній роботі я використав ПЗВ з автоматичним вимикачем.

Також задля економії я не став використовувати автоматичні вимикачі окремо для кожного приладу, таких як посудомийна машина, пральна машина, кондиціонери тощо. Я вважаю одного загального автомата цілком достатньо. Тим паче, що навантаження між фазами розділене рівномірно і не буде вмикатися одночасно. Номінал ПЗВ я взяв на ступінь вище, ніж встановленого автоматичного вимикача. Обумовлено це тим, що за час спрацювання вимикача за тепловим розчеплювачем, струм протікання може перегріти ПЗВ і воно може вийти з ладу. Принципова електрична схема внутрішньої електромережі будинку з трифазним вводом наведена на рисунку 2.4.1.

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

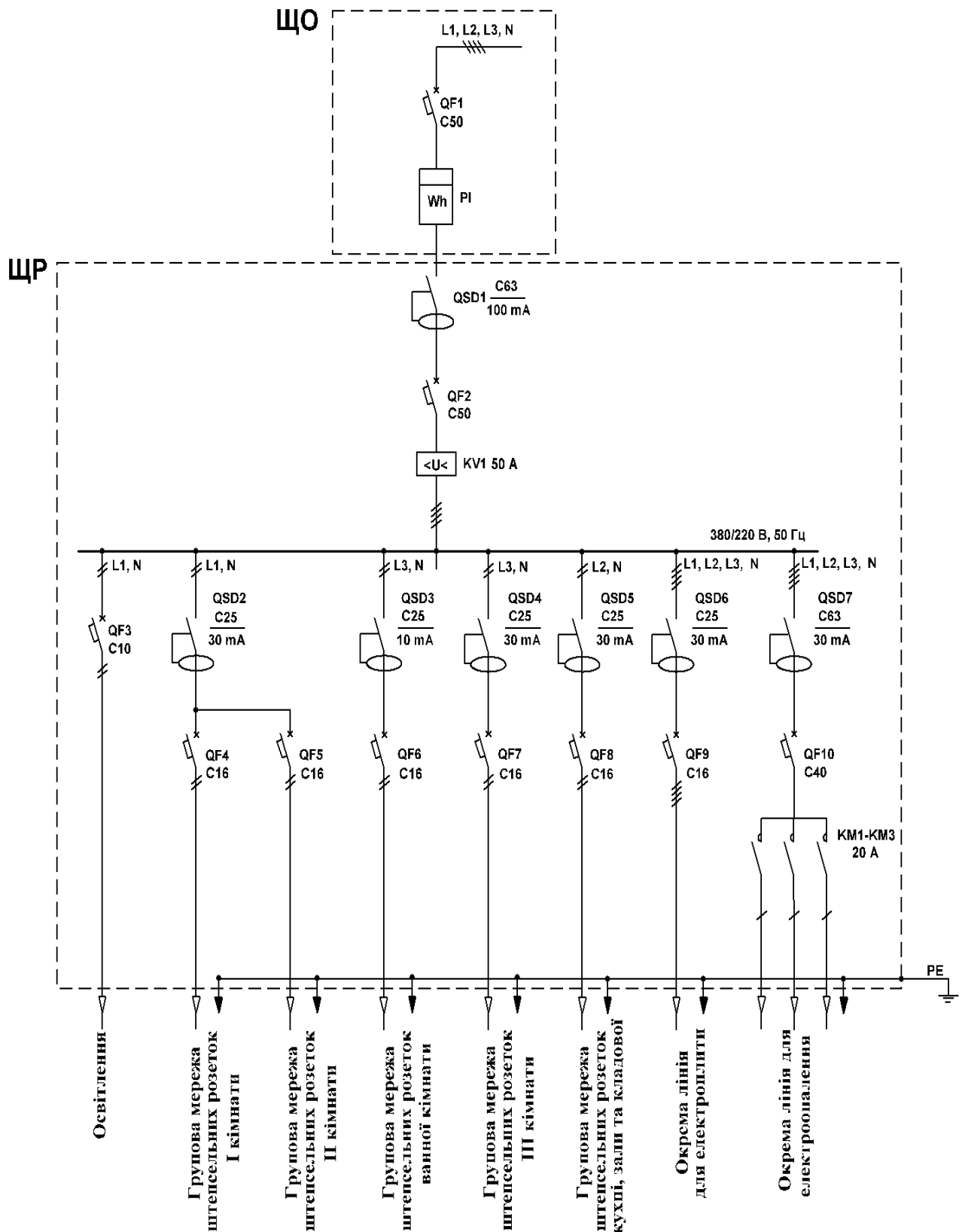
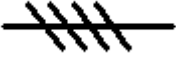

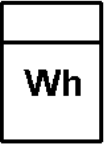
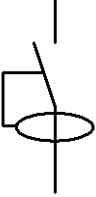
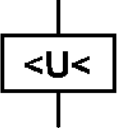





Рис. 2.4.1 – Принципова електрична схема внутрішньої електромережі будинку з трифазним вводом

Таблиця 2.4.1 – Схематичні позначення, що зображені на рисунку 2.4.1

Схематичне позначення	Буквенне позначення	Позначення
	L_1-L_3, N	Лінія з вказаною кількістю провідників
	QF_1-QF_{10}	Автоматичний вимикач
	P_1	Лічильник для обліку активної електроенергії
	QSD_1-QSD_7	Пристрій захисного вимкнення (ПЗВ)
	KV_1	Реле напруги
	KM_1-KM_3	Контактор
	-	Відхід кабельної лінії
	-	Заземлення

Перевіримо умову (2.3.1), робочі струми та допустимі струми кабелів вже наведені в пункті 2.2 тому залишилось лише порівняти числа:

- Ввідний кабель має алюмінієві жили з перерізом 16 мм², допустимий тривалий струм 75 А, автоматичний вимикач на 50 А:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z = 49,5 \leq 50 \leq 75$$

- Для освітлення кабель для підключення окремих світильників має мідні жили з перерізом 1,0 мм², допустимий тривалий струм складає 17 А, автоматичний вимикач на 10 А отже:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z = 1,2 \leq 10 \leq 17$$

струм у світильників з встановленими економ лампами навряд чи буде більше 17 А, однак якщо буде, то автоматичний вимикач на 10 А з часо-струмовою характеристикою «С» спрацює за 50 с (рисунок 2.4.2 часо-струмова характеристика за +30 °С) при струмі $10 \cdot 1,45 = 14,5$ що все одно менше тривало допустимого струму для кабелю.

- Для розеток кабель має мідні жили з перерізом 1,5 мм², розетки встановлені зазвичай на 16 А, допустимий тривалий струм кабелю складає 23 А, автоматичний вимикач на 16 А отже:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z = 16 \leq 16 \leq 23$$

автоматичний вимикач на 16 А з часо-струмовою характеристикою «С» спрацює за 50 с при струмі $16 \cdot 1,45 = 23,2$.

- Для електроплити кабель має мідні жили з перерізом 1,5 мм², максимальний робочий струм 12,2 А, допустимий тривалий струм кабелю складає 23 А, автоматичний вимикач на 16 А отже:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z = 12,2 \leq 16 \leq 23$$

автоматичний вимикач на 16 А з часо-струмовою характеристикою «С» спрацює за 50 с при струмі $16 \cdot 1,45 = 23,2$.

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

- Для електроопалення кабель має мідні жили з перерізом 6,0 мм², максимальний робочий струм 39,4 А, допустимий тривалий струм кабелю складає 50 А, автоматичний вимикач на 40 А отже:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z = 39,4 \leq 40 \leq 50$$

Всі умови виконуються, отже вибрані кабелі та автомати можуть забезпечити надійну та безпечну роботу.

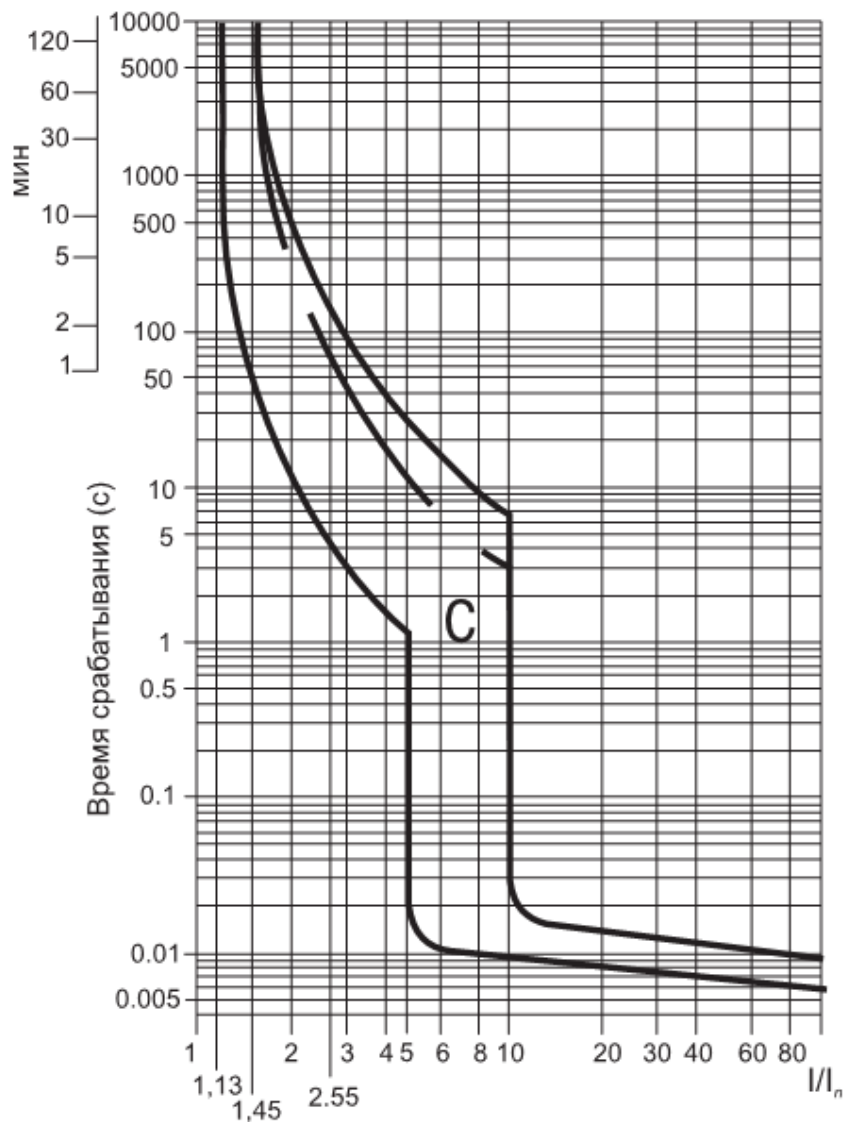


Рисунок 2.4.2 – Часо-струмова характеристика для вимикачів типу «С»

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК БЛИСКАВКОЗАХИСТУ ТА ЗАХИСНОГО ЗАЗЕМЛЕННЯ

3.1 Загальні вимоги для встановлення грозозахисту та захисного заземлення

Грозозахист

Згідно ДСТУ Б В.2.5-38:2008 нижче подано терміни, вжиті в цьому стандарті, та визначення позначених ними понять:

ПРЯМИЙ УДАР БЛИСКАВКИ (ПУБ) — безпосередній контакт каналу блискавки з об'єктом (будівлею або спорудою), що супроводжується протіканням через нього струму блискавки.

РІВЕНЬ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ (РБЗ) – число (номер), яке пов'язане із заздалегідь встановленими параметрами струму блискавки та імовірністю того, що ці взаємопов'язані максимальні і мінімальні параметри не будуть перевищувати природних параметрів струмів блискавки.

ЗАХИСТ ВІД ПУБ – зовнішня система заходів, які застосовуються для скорочення матеріальних збитків, обумовлених ударами блискавки в будівельні конструкції.

БЛИСКАВКОВІДВІД — пристрій, який сприймає удар блискавки і відводить її струм в землю.

БЛИСКАВКОПРИЙМАЧ — частина блискавковідводу, призначена для перехоплення блискавок.

СТРУМОВІДВІД — частина блискавковідводу, призначена для відведення струму блискавки від блискавкоприймача до заземлювача.

ЗАЗЕМЛЮВАЧ — провідна частина або сукупність з'єднаних між собою провідних частин, які перебувають в електричному контакті з землею безпосередньо або через проміжне провідне середовище, наприклад, бетон.

ЗОНА ЗАХИСТУ БЛИСКАВКОВІДВОДА — простір, усередині якого будівельна конструкція захищена від ПУБ з надійністю не нижче визначеного значення.

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

ПРИСТРІЙ ЗАХИСТУ ВІД ІМПУЛЬСНОЇ ПЕРЕНАПРУГИ (ПЗІП)— пристрій, призначений для обмеження перехідних перенапруг і для відводу імпульсного струму. Цей пристрій має, принаймні, один нелінійний елемент.

4.1 Класифікація об'єктів визначається за небезпекою ударів блискавки для самого об'єкта і його оточення. Безпосередня небезпечна дія блискавки — це пожежі, механічні пошкодження, травми та загибель людей і тварин, а також пошкодження електричного і електронного устаткування. Наслідками удару блискавки можуть бути вибухи і виділення небезпечних продуктів — радіоактивних і отруйних хімічних речовин, а також бактерій та вірусів. Удари блискавки можуть бути особливо небезпечні для електронних систем.

4.2 Щодо блискавкозахисту об'єкти поділяються на звичайні та спеціальні. Звичайні об'єкти (промислові підприємства, тваринницькі і птахівничі будівлі і споруди, житлові і адміністративні будівлі, універмаги, банки, страхові компанії, дошкільні установи, школи, лікарні, притулки для старих, музеї і археологічні пам'ятники, спортивні споруди тощо). Спеціальні об'єкти:

- об'єкти, що становлять небезпеку для безпосереднього оточення (нафтопереробні підприємства, заправні станції, підприємства з виробництвом і зберіганням вибухових речовин);
- об'єкти, що становлять небезпеку для екології (хімічні заводи, атомні електростанції, біохімічні фабрики і лабораторії);
- об'єкти з обмеженою небезпекою (пожежонебезпечні підприємства, електростанції, підстанції і лінії електропередавання, засоби зв'язку);
- інші об'єкти (будови висотою вище 60 м, об'єкти, що будуються).

4.3 Необхідність виконання блискавкозахисту об'єкта від ПУБ і його РБЗ визначаються за таблицею Додатка А в залежності від можливо очікуваної кількості уражень об'єкта блискавкою за рік N і суспільного значення і тяжкості наслідків від дії блискавки.

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
						44
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.4 Очікувана кількість уражень об'єкта блискавкою за рік N визначається за наступними формулами:

- для зосереджених споруд (димові труби, вежі, башти тощо):

$$N = 9\pi * h_{\text{ОБ}}^2 * n * 10^{-6} \quad (3.1.1)$$

- для будівель і споруд прямокутної форми:

$$N = \left((S + 6 * h_{\text{ОБ}}) * (L + 6 * h_{\text{ОБ}}) - 7,7 * h_{\text{ОБ}}^2 \right) * n * 10^{-6} \quad (3.1.2)$$

- для протяжного об'єкта довжиною L (лінії електропередавання, зв'язку тощо):

$$N = (6 * L * h_{\text{ОБ}}) * n * 10^{-6} \quad (3.1.3)$$

де $h_{\text{ОБ}}$ – найбільша висота об'єкта, м;

L – довжина об'єкта, м;

S – ширина об'єкта, м;

n – щільність ударів блискавки на 1 км^2 земної поверхні за рік, визначена за даними метеорологічних спостережень в місці розташування об'єкта, $1/\text{км}^2$ рік.

Якщо дані спостереження відсутні, то n можна розрахувати за наступною формулою:

$$n = \frac{6,7 * T_{\text{ГР}}}{100}, \frac{1}{\text{км}^2 * \text{рік}} \quad (3.1.4)$$

де $T_{\text{ГР}}$ – середня тривалість гроз у годинах, визначена за картами інтенсивності грозової діяльності та вже була наведена в підрозділі 1,3, рис. 1.3.4.

6.1.1 Система блискавкозахисту будівель або споруд включає захист від ПУБ - зовнішня блискавко захисна система (БЗС) і захист від вторинних дій блискавки - внутрішня БЗС. В окремих випадках блискавкозахист може містити тільки зовнішню БЗС або тільки внутрішню БЗС. В загальному випадку частина струмів блискавки протікає по елементах системи внутрішнього блискавкозахисту.

6.1.2 Зовнішня БЗС може бути відокремленою (ізолюваною) від споруди (блискавковідводи, що стоять окремо— стрижньові або тросові, а також сусідні споруди, що виконують функції природних блискавковідводів) або може бути встановлена на об'єкті, що захищається, і навіть може бути його частиною.

					КП 3.6.141.141 ПЗ	Арк.
						45
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.1.5 Надійність захисту від ПУБ (P_3) слід приймати:

$0,99 \div 0,999$ – для об'єктів I РБЗ ;

$0,95 \div 0,99$ – для об'єктів II РБЗ ;

$0,9 \div 0,95$ – для об'єктів III РБЗ ;

не нижче ніж $0,85$ – для об'єктів IV РБЗ.

6.2.1 Зовнішня БЗС в загальному випадку складається з блискавки приймачів, струмовідводів і заземлювачів. У разі спеціального виготовлення їх матеріал і розміри повинні задовольняти вимогам табл. 3.1.1.

Таблиця 3.1.1 - Матеріал і мінімальні перерізи елементів зовнішньої БЗС

Рівень захисту	Матеріал	Переріз, мм ²		
		блискавкоприймача	струмовідводу	заземлювача
I-IV	Сталь	50	50	100
I-IV	Алюміній	70	25	Не застосовується
I-IV	Мідь	35	16	50

Примітка. Вказані значення можуть бути збільшені в залежності від підвищеної корозії або механічних дій.

6.4.2 Якщо блискавкоприймач складається зі стрижнів, встановлених на окремих опорах (або одній опорі), на кожному опорі повинен бути передбачений мінімум один струмовідвід.

6.4.3 Якщо блискавкоприймач складається з окремих горизонтальних дротів (тросів) або з одного дроту (троса), на кожному кінці троса потрібен мінімум один струмовідвід.

6.4.4 Якщо блискавкоприймач є сітчастою конструкцією, підвішеною над об'єктом, що захищається, на кожному її опорі потрібно не менше одного струмовідводу. Загальна кількість струмовідводів повинна бути не менше двох.

6.4.5 Струмівідводи слід розташовувати по периметру об'єкта, що захищається, так, щоб середня відстань між ними була не менше значень, наведених у табл. 3.1.2.

Струмівідводи слід з'єднувати горизонтальними поясами поблизу поверхні землі і через кожні 20 м по висоті будівлі.

Таблиця 3.1.2 - Середні відстані між струмівідводами залежно від рівня захищеності

Рівень захисту	Середня відстань, м
I	10
II	15
III	20
IV	25

6.4.6 Струмівідводи слід розташовувати рівномірно по периметру об'єкта, що захищається. По можливості їх прокладають поблизу кутів будівель.

6.4.7 Неізольовані від об'єкта струмівідводи слід прокладати таким чином:

- якщо стіна виконана з негорючого матеріалу, струмівідводи можуть бути закріплені на поверхні стіни або проходити в стіні;
- якщо стіна виконана з горючого матеріалу, струмівідводи можуть бути закріплені безпосередньо на поверхні стіни так, щоб підвищення температури при протіканні струму блискавки не являло небезпеки для матеріалу стіни;
- якщо стіна виконана з горючого матеріалу і підвищення температури струмівідводів являє для неї небезпеку, струмівідводи повинні розташовуватися так, щоб відстань між ними і об'єктом, що захищається, завжди перевищувала 0,1 м. Металеві скоби для кріплення струмівідводів можуть бути у контакті зі стіною.

6.4.8 Не слід прокладати струмівідводи у водостічних трубах. Струмівідводи, які прокладаються по зовнішніх стінах будівель слід розміщувати не ближче ніж 3 м від входів або в місцях недоступних для дотику людей.

6.4.9 Струмівідводи прокладаються по прямих і вертикальних лініях так, щоб шлях до землі був найкоротшим.

6.5.1 Для захисту від ПУБ слід, як правило, використовувати природні заземлювачі - металеві і залізобетонні конструкції будівель, споруд, зовнішніх установок, опор блискавковідводів, що стоять окремо, тощо, які перебувають у контакті з землею, у тому числі залізобетонні фундаменти в неагресивних, слабо агресивних і середньо агресивних середовищах за умови забезпечення неперервного електричного зв'язку по їх арматурі і приєднання її до закладних деталей за допомогою зварювання. Бітумні і бітумно-латексні покриття не є перешкодою для такого використання фундаментів. В сильно агресивних середовищах, де захист залізобетону від корозії виконується полімерними матеріалами, а також у разі вологості ґрунту менш ніж 3% використовувати залізобетонні фундаменти як заземлювачі блискавкозахисту не допускається. Не слід також використовувати як заземлювачі залізобетонні конструкції з попередньо напруженою арматурою.

6.5.2 Для блискавковідводів I та II РБЗ, що стоять окремо, доцільно використовувати наступні конструкції природних заземлювачів:

- один (і більше) залізобетонний підніжник за розмірами не меншими ніж 2,2 м – довжиною, 0,4 м x 0,4 м – у верхній (надземній) частині і 1,8 м x 1,8 м у нижній (підземній) частині, заглиблений у землю не менше ніж на 2 м;
- одна (і більше) залізобетонна свая або опора діаметром не менше ніж 0,25 м, заглиблена в землю не менше ніж на 5 м;
- залізобетонний фундамент довільної форми з площиною контакту з землею не менше ніж 10 м².

6.5.4 У разі неможливості використання природних заземлювачів для блискавковідводів, що стоять окремо, використовуються наступні штучні заземлювачі:

- для I та II РБЗ – заземлювач, який складається з трьох і більше вертикальних електродів довжиною не менше ніж 3 м, об'єднаних горизонтальним електродом і відстанню між ними не менше ніж 3 м;

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
						48
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- для III РБЗ – заземлювач, який складається мінімум з двох вертикальних електродів довжиною не менше ніж 3 м, об'єднаних горизонтальним електродом і відстанню між ними не менше ніж 3 м;
- для IV РБЗ – заземлювач, який складається з одного вертикального або горизонтального електрода довжиною 2÷3 м, прокладеним на глибині не менше ніж 0,5 м.

6.5.5 Штучні заземлювачі слід розміщувати під асфальтовим покриттям на відстані не менше 1 м від стін або в місцях, в яких звичайно не перебувають люди (на газонах, на відстані до 5 м і більше від ґрунтових проїжджих і пішохідних доріг).

6.5.6 У всіх випадках, за винятком використання блискавковідводу, що стоїть окремо, заземлювач блискавкозахисту слід суміщати із заземлювачами електроустановок і засобів зв'язку. Якщо ці заземлювачі повинні бути розділені за будь-якими технологічними міркуваннями, їх слід об'єднати в загальну систему за допомогою системи зрівнювання потенціалів.

Внутрішня БЗС це в першу чергу ПЗІП:

8.5.2 ПЗІП координують для досягнення прийняттого розподілу навантаження між комунікаціями відповідно до їх стійкості до руйнування, а також для зменшення імовірності руйнування устаткування, що захищається, під впливом струму блискавки. Рекомендується лінії живлення і зв'язку, що входять в будівлю, з'єднувати однією шиною і розташовувати їх ПЗІП якомога ближче один до одного. Це особливо важливо в будівлях із неекрануючого матеріалу (дерева, цегли тощо). ПЗІП вибираються і встановлюються так, щоб струм блискавки був в основному відведений у систему заземлення.

8.5.4 Виходячи з вимог координації ізоляції в силових установках і стійкості до пошкоджень устаткування, що захищається, необхідно вибирати рівень ПЗІП за напругою нижче максимального значення, щоб дія на устаткування, що захищається, завжди була нижчою за допустиму напругу. Якщо рівень стійкості до пошкоджень невідомий, слід використовувати орієнтовний або отриманий в результаті випробувань рівень. Кількість ПЗІП в системі, що захищається, залежить

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
						49
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

від стійкості устаткування, що захищається, до пошкоджень і характеристик самих ПЗП [10].

Захисне заземлення

Згідно ПУЕ, глава 1.7 «Заземлення та захисні заходи від ураження електричним струмом»:

ЗАЗЕМЛЮВАЧ – провідна частина (провідник) або сукупність з'єднаних між собою провідних частин (провідників), які перебувають в електричному контакті із землею безпосередньо або через проміжне провідне середовище, наприклад, бетон.

ШТУЧНИЙ ЗАЗЕМЛЮВАЧ – заземлювач, який спеціально виконують з метою заземлення.

ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНИЙ ПРОВІДНИК – провідник, який з'єднує заземлювач з визначеною точкою системи або електроустановки чи обладнання.

ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ – сукупність електрично з'єднаних між собою заземлювача і заземлювальних провідників, включаючи елементи їх з'єднання.

ЗАЗЕМЛЕННЯ – виконання електричного з'єднання між визначеною точкою системи, установки або обладнання і заземлювальним пристроєм.

ЗАХИСНЕ ЗАЗЕМЛЕННЯ – заземлення точки чи точок системи, установки або обладнання з метою забезпечення електробезпеки.

ОПР ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ (заземлювача) – відношення напруги на заземлювальному пристрої (заземлювачі) до струму, який стікає із заземлювача в землю.

НАПРУГА ДОТИКУ – різниця потенціалів між провідними частинами (одна з яких може бути землею) за одночасного дотику до них людини або тварини.

1.7.54 Небезпечні струмовідні частини електроустановки не мають бути доступними для випадкового прямого дотику, а доступні для дотику відкриті і сторонні провідні частини не мають бути небезпечними як за нормальних умов (експлуатація електроустановки за призначенням і без пошкодження), так і за умови

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

одиночного пошкодження.

1.7.62 Живлення електроустановок напругою до 1 кВ з використанням системи ТТ доцільно виконувати в разі розширення системи електропостачання без належної перевірки вимог до автоматичного вимикання живлення, які треба виконувати в електроустановках з системою TN у разі застосування пристроїв захисту, що реагують на надструми. Систему ТТ доцільно виконувати в електроустановках мобільних (інвентарних) будинків з металу або з металевим каркасом для вуличної торгівлі та побутового призначення. Основним захистом від непрямого дотику в таких електроустановках має бути автоматичне вимкнення живлення з обов'язковим застосуванням ПЗВ. При цьому треба виконувати таку умову:

$$R_A \leq \frac{50}{I_{\Delta n}} \quad (3.1.5)$$

але не більше ніж 100 Ом,

де R_A – опір заземлювального пристрою, до якого підключено всі відкриті провідні частини, які знаходяться в зоні захисту захисного пристрою;

$I_{\Delta n}$ – струм спрацьовування ПЗВ, А.

1.7.78 У приміщеннях і відкритих установках, де застосовують такі заходи захисту, як автоматичне вимкнення живлення або захисне заземлення, необхідно виконувати захисне зрівнювання потенціалів. З цією метою всі сторонні провідні частини необхідно приєднувати до захисного заземлення в електроустановках напругою понад 1 кВ і до захисного РЕ – провідника в електроустановках напругою до 1 кВ.

1.7.94 На вводі до електроустановки будинку (будівлі), в якій для захисту від непрямого дотику застосовується автоматичне вимкнення живлення за рішенням власника будинку (будівлі) рекомендовано влаштовувати повторне заземлення PEN- (РЕ)-провідника, опір якого має бути не більше ніж 30 Ом. Для цього, перш за все, слід використовувати природні заземлювачі (арматуру фундаменту, з'єднану між собою безперервно – для будинків, що проектуються чи будуються) та

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

заземлювачі грозозахисту будинку. Якщо грозозахист будинку не виконується і безпосередньо біля нього відсутні природні заземлювачі, то роль повторного заземлювача на вводі до електроустановки будинку може виконувати повторний (грозозахисний) заземлювач PEN- (PE)-провідника, установлений на повітряній лінії живлення, якщо відстань між ним і ввідно-розподільним пристроєм електроустановки не перевищує 60 м. Установлена на фасаді будинку або на опорі ПЛ будь-яка металева шафа з електро-обладнанням, яка обслуговується безпосередньо з поверхні землі (наприклад, шафа на вводі в будинок з комутаційно-захисним пристроєм і лічильником електроенергії), повинна бути з'єднаною з РЕ-провідником електроустановки і провідником системи вирівнювання потенціалів, яка виконується шляхом закладання в землю (на глибину 0,5 – 0,7 м і відстань один метр від шафи) провідника із чорної сталі діаметром, не менше ніж 10 мм.

1.7.121 В електроустановках напругою до 1 кВ з глухозаземленою нейтраллю переріз заземлювальних провідників, які з'єднують струмовідну частину джерела живлення з заземлювачем, має відповідати вимогам 1.7.137 до захисних провідників. Переріз заземлювальних провідників повторних заземлень, а також у системах заземлення ТТ і ІТ, які з'єднують заземлювач із РЕ-шиною або ГЗШ, визначають за максимальним струмом, який може протікати через заземлювач за час спрацьовування захисного пристрою. В усіх випадках мінімальний переріз заземлювального провідника має бути не менше ніж 6 мм² – для міді, 16 мм² – для алюмінію і 50 мм² – для сталі. Переріз заземлювального провідника, який з'єднує заземлювач робочого (функціонального) заземлення з ГЗШ, має відповідати вимогам стандартів і інструкцій виробника обладнання щодо влаштування його заземлення та бути не менше ніж 10 мм² – для міді, 16 мм² – для алюмінію, 75 мм² – для сталі.

1.7.117 Мінімальні розміри заземлювачів і заземлювальних провідників, прокладених у землі, мають відповідати розмірам, зазначеним у табл. 3.1.3.

					КП 3.6.141.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Таблиця 3.1.3 – Мінімальні розміри заземлювачів і заземлювальних провідників, прокладених у землі

Матеріал	Характеристика зовнішньої поверхні	Тип заземлювачів	Мінімальні розміри			
			Діаметр, мм	Переріз мм ²	Товщина стінки, мм	Товщина покриття, мкм
Сталь чорна	Без покриття	для вертикальних заземлювачів: кругла	16	-	-	-
		для горизонтальних заземлювачів: круглий	10	-	-	-
		прямокутна штаба	-	100	4	-
		профіль	-	100	4	-
Сталь з покриттям	Гаряче оцинковане покриття	для вертикальних заземлювачів: кругла	16	-	-	70
		для горизонтальних заземлювачів: круглий	10	-	-	50
		прямокутна штаба	-	90	3	70
		профіль	-	90	3	70
	Гальванічне мідне покриття	для вертикальних заземлювачів: кругла	14	-	-	250
		для горизонтальних заземлювачів:				

Продовження таблиці 3.1.3

		круглий	10	-	-	250
Нержавіюча сталь	Без покриття	Так само, як для сталі з гарячеоцинкованим покриттям				
Мідь	Без покриття	круглий	12	-	-	-
		прямокутна штаба	-	50	2	-
		труба	20	-	2	-
		канат багатодротівий	1,8 для кожного з дротів	35	-	-

1.7.137 Мінімальний переріз РЕ-провідників має відповідати значенням, наведеним у табл. 3.1.4. Переріз провідників у табл. 3.1.4 наведено для випадку, коли їх виготовлено з того самого матеріалу, що й фазні. Переріз провідників з іншого матеріалу за провідністю повинен бути еквівалентним зазначеному в табл. 1.7.6.

Таблиця 3.1.4 – Мінімальний переріз РЕ-провідників, які є жилою кабелю або ізольованого проводу живлення

Переріз фазних провідників, мм ²	Мінімальний переріз захисних провідників, мм ²
$S \leq 16$	S
$16 \leq S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

3.2 Розрахунок зовнішнього блискавкозахисту

Розрахунок потрібно почати з визначення класу вогнестійкості будівлі, так як без цього не можна визначити рівень грозозахисту. Одноповерхові приватні будинки бувають здебільшого двох видів або повністю дерев'яні (стеля, стіни, перекриття) або дерев'яні лише перекриття, а стіни з іншого негорючого матеріалу, наприклад з цегли. В мене другий випадок. Отже, клас вогнестійкості – III: будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону; для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, які захищені штукатуркою або мають вогнезахисну обробку. [11].

Далі потрібно розрахувати кількість ударів блискавки на рік. Прийmemo форму будинку прямокутною. Далі потрібно скористатись формулою 3.1.2.

$$N = ((S + 6 * h_{OB}) * (L + 6 * h_{OB}) - 7,7 * h_{OB}^2) * n * 10^{-6}$$

Ширину та довжину знайдемо за планом будинку наведеним в підрозділі 1.3 рисунок 1.3.2 з врахуванням товщини всіх стін - 0,5 м:

$$S = 3,8 + 2,15 + 3,4 + 0,5 = 9,8 \text{ м}$$

$$L = 3,7 + 5,14 + 5 + 0,5 = 14,3 \text{ м}$$

Найбільша висота об'єкта h_{OB} , м складається з середньої висоти стель 2,6 м та приблизної висоти даху залежно від кута нахилу [12]. Я взяв кут нахилу 35° , отже висота даху складе приблизно 2,5 м тоді:

$$h_{OB} = 2,6 + 2,5 = 5,1 \text{ м}$$

Щільність ударів блискавки розрахуємо за формулою 3.1.4:

$$n = \frac{6,7 * T_{ГР}}{100} = \frac{6,7 * \frac{60 + 80}{2}}{100} = 4,69 \frac{1}{\text{км}^2 * \text{рік}}$$

де $T_{ГР}$ – середня тривалість гроз у годинах, визначена за картами інтенсивності грозової діяльності наведена в підрозділі 1,3, рис. 1.3.4 Для Сумської області це значення лежить в межах від 60 до 80 годин.

Підставляючи отримані значення в формулу отримуємо результат:

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
						55
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N = ((9,8 + 6 * 5,1) * (14,3 + 6 * 5,1) - 7,7 * 5,1^2) * 4,69 * 10^{-6} = 0,0076$$

Звертаючись до ДСТУ Б В.2.5-38:2008, а саме таблиці Додатку А, підходить 5 пункт таблиці: розташовані в сільській місцевості невеликі будови III — V ступенів вогнестійкості з $N < 0,02$. Отже, рівень грозозахисту для даного об'єкта — IV.

Тепер знаючи рівень грозозахисту можна скористатися формулами для розрахунку висоти різних конструкцій блискавковідводів. Це може бути й одиничний стрижньовий блискавковідвід, одиничний тросовий, подвійний стрижньовий, подвійний тросовий. Або можна використати метод захисного кута, фіктивної сфери або захисної сітки. Я спробую розрахувати методом одиничного стрижньового та тросового блискавковідводу. Та використаю метод захисного кута та захисної сітки. Потім порівняю, що найбільш доцільно використати.

Зони захисту одиничних стрижньових блискавковідводів

Згідно з ДСТУ Б В.2.5-38:2008:

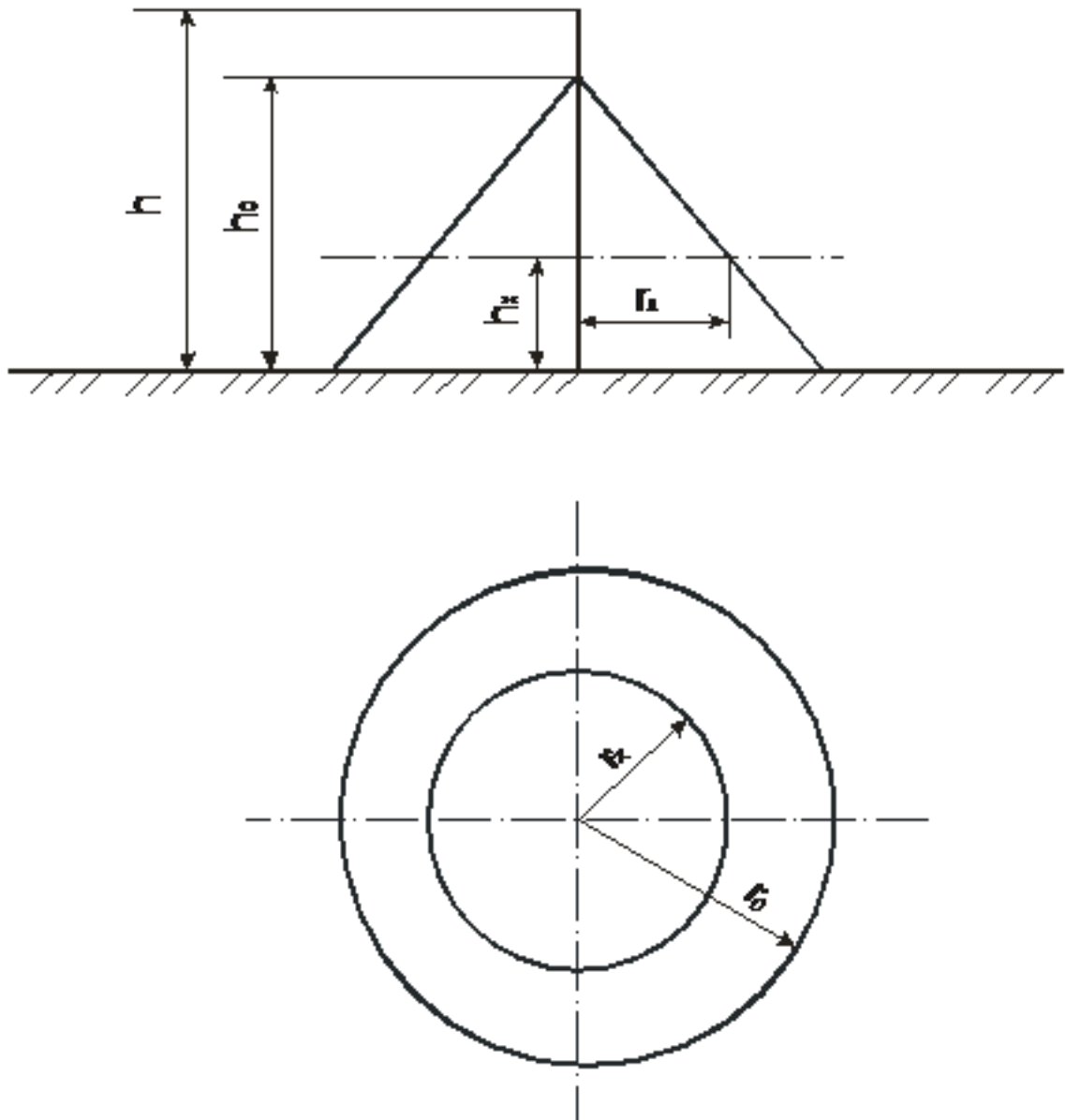
7.2.1 Стандартною зоною захисту одиничного стрижньового блискавковідводу висотою h є круговий конус висотою $h_0 < h$, вершина якого співпадає з вертикальною віссю блискавковідводу рис. 3.2.1. Габарити зони визначаються двома параметрами: висотою конуса h_0 і радіусом конуса на рівні землі r_0 .

7.2.2 Наведені нижче розрахункові формули табл. 3.2.1 придатні для блискавковідводів висотою до 150 м. При більш високих блискавковідводах слід користуватися спеціальною методикою розрахунку.

7.2.3 Для зони захисту необхідної надійності одиничного стрижньового блискавковідводу радіус горизонтального перерізу r_x на висоті h_x визначається за формулою:

$$r_x = \frac{r_0 * (h_0 - h_x)}{h_0} \quad (7.1)$$

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
						56
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



h – мінімальна висота тросу над рівнем землі

h_0 - висота конуса

r_0 - радіус конуса

r_x - напівширина зони захисту на висоті h_x від поверхні землі

Рис. 3.2.1 – Зона захисту одиничного стрижньового блискавковідводу

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КП 3.6.141.141 ПЗ

Арк.

57

Таблиця 3.2.1 - Розрахунок зони захисту одиничного стрижньового блискавковідводу

Надійність захисту P_3	Висота блискавковідводу h , м	Висота конуса h_0 , м	Радіус конуса r_0 , м
0,9	від 0 до 100	$0,85h$	$1,2h$
	від 100 до 150	$0,85h$	$[1,2 - 10^{-3}(h-100)]h$
0,99	від 0 до 30	$0,8h$	$0,8h$
	від 30 до 100	$0,8h$	$[0,8 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)] h$
	від 100 до 150	$[0,8 - 10^{-3}(h-100)]h$	$0,7h$
0,999	від 0 до 30	$0,7h$	$0,6h$
	від 30 до 100	$[0,7 - 7,14 \cdot 10^{-4}(h-30)]h$	$[0,6 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)] h$
	від 100 до 150	$[0,65 - 10^{-3}(h-100)]h$	$[0,5 - 2 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$

Прийmemo висоту h_x за висоту будівлі 5,1 м. Тоді висота блискавковідводу від землі до верхнього кінця стрижня буде $h = h' + h_x$. h' - невідома висота самого блискавковідводу від кінця даху де він встановлений і яку потрібно знайти. Зона радіуса r_x це коло, описане навколо прямокутника зі сторонами S та L . Тобто периметр будинку. Розрахункове значення r_x має повністю перекривати будинок для досягнення потрібного рівня надійності захисту $P_3 = 0,9$ згідно таблиці 3.2.1. Можна одразу знайти мінімальний радіус r_x користуючись наступною формулою:

$$r_x = \frac{\sqrt{S^2 + L^2}}{2} = \frac{\sqrt{9,8^2 + 14,34^2}}{2} = 8,7 \text{ м}$$

$$h = h_x + h'$$

$$r_0 = 1,2 * h$$

$$h_0 = 0,85 * h$$

Тоді знаючи r_x , підставимо в формулу інші величини виражені відносно h :

$$r_x = \frac{r_0 * (h_0 - h_x)}{h_0} \rightarrow 8,7 = \frac{1,2 * h * (0,85 * h - 5,1)}{0,85 * h}$$

Скоротимо на h :

$$8,7 = \frac{1,2 * (0,85 * h - 5,1)}{0,85}$$

Відкриємо дужки:

$$8,7 = \frac{1,02 * h - 6,12}{0,85}$$

Перенесемо відомі та невідомі:

$$1,02 * h - 6,12 = 8,7 * 0,85$$

Знайдемо загальну висоту:

$$h = \frac{8,7 * 0,85 + 6,12}{1,02} = 13,25$$

Тоді висота самого блискавковідводу складе:

$$h = h_x + h' \rightarrow h' = 13,25 - 5,1 = 8,15 \text{ м}$$

Знайдемо решту параметрів:

$$h_0 = 0,85 * h = 0,85 * 13,25 = 11,26 \text{ м}$$

$$r_0 = 1,2 * h = 1,2 * 13,25 = 15,9 \text{ м}$$

Знаючи всі необхідні дані, нанесемо їх на спрощене схематичне зображення будинку рисунок 3.2.2. Для стрижньового блискавковідводу достатньо зображення зверху та збоку. Однак вже можна зробити певний аналіз отриманих даних: встановлення блискавковідводу висотою 8,15 м на будинок висотою 5,1 м є не доцільним. Перше, його потрібно якось закріпити, щоб він не впав, адже він високий і важкий. Друге, він псує зовнішній вигляд будинку. Третє, з такою висотою блискавковідводу шанси на те, що в невеликий будинок вдарить блискавка, здається, тільки зростають. Адже висота збільшилась в 1,5 раза. І останнє, навіть з такою висотою блискавковідводу, все одно існує шанс, що будівля буде вражена блискавкою. В даному випадку захист складає лише 90 %. Тому я вважаю не доцільно використовувати одиничний стрижньовий блискавковідвід в даному випадку.

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

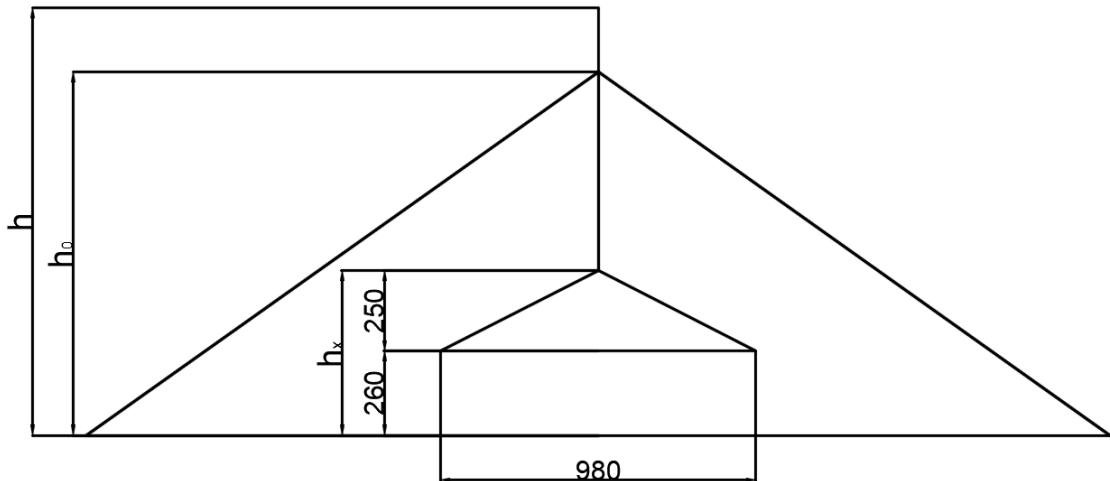
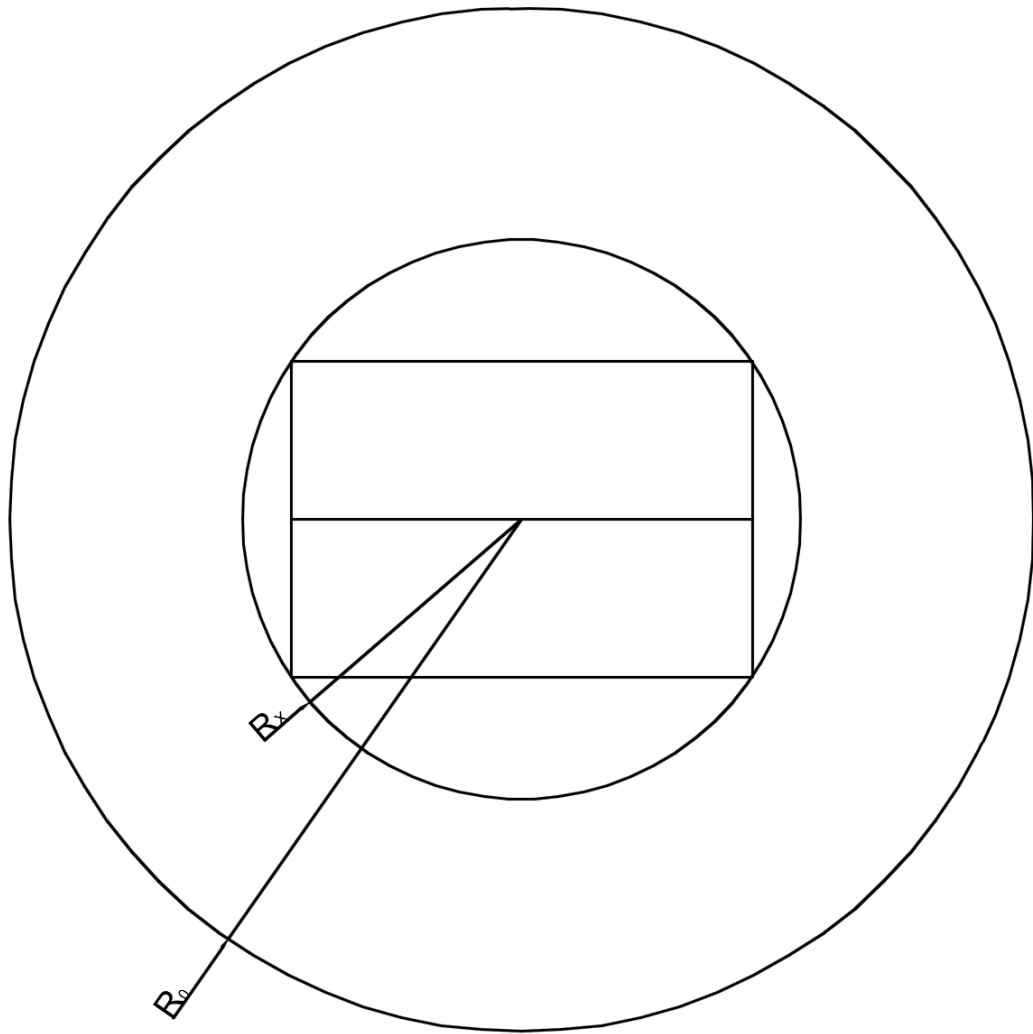


Рис. 3.2.2 – Зона захисту одиничного стрижньового блискавковідводу

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Визначення зон захисту блискавковідводів методом захисного кута

Проведемо розрахунок для одиничного стрижньового блискавковідводу за методом захисного кута. Подивимось як це вплине на висоту блискавковідводу. Згідно з ДСТУ Б В.2.5-38:2008:

7.7.1 Нижче надаються правила визначення зон захисту блискавковідводів для об'єктів висотою до 60 м методами захисного кута, фіктивної сфери і у разі застосування захисної сітки. При проектуванні може бути вибраний будь-який спосіб визначення зон захисту.

7.7.2 Доцільно використовувати окремі методи в наступних випадках:

- метод захисного кута - для простих за формою споруд і об'єктів IV РБЗ або для маленьких частин великих споруд;
- метод фіктивної сфери - для споруд складної форми;
- застосування захисної сітки доцільно в загальному випадку і особливо для захисту поверхонь.

7.7.3 В табл. 3.2.2 для рівнів захисту I —IV наводяться значення кутів при вершині зони захисту, радіуси фіктивної сфери, а також гранично допустимий крок чарунки сітки.

Таблиця 3.2.2 – Параметри для розрахунку зон захисту блискавки приймачів методами захисного кута, фіктивної сфери і у разі використання захисної сітки

Рівень захисту	Радіус фіктивної сфери R , м	Кут α° , при вершині блискавковідводу для будівель різної висоти $h_{об}$, м				Крок чарунки сітки, м
		20	30	45	60	
I	20	25	*	*	*	5
II	30	35	25	*	*	10
III	45	45	35	25	*	10
IV	60	55	45	35	25	20

* В цих випадках застосовні тільки сітки або фіктивні сфери.

7.7.4 Стрижньові блискавкоприймачі, щогли і троси розміщуються так, щоб всі частини споруди знаходилися в зоні захисту, утвореного під кутом α до вертикалі. Захисний кут вибирається за табл. 3.2.2.

Метод захисного кута не використовується, якщо $h_{об}$ більше, ніж радіус фіктивної сфери, визначений за табл. 3.2.2 для відповідного рівня захисту.

7.7.5 Метод фіктивної сфери використовується для визначення зони захисту блискавковідводів частини або ділянок споруди, коли згідно з табл. 3.2.2 виключено визначення зони захисту за захисним кутом. Об'єкт вважається захищеним, якщо фіктивна сфера, торкаючись поверхні блискавковідводу і площини, на якій той встановлений, не має спільних точок з об'єктом, що захищається.

7.7.6 Сітка захищає поверхню, якщо виконані наступні умови:

- провідники сітки проходять по краю даху, який виходить за габаритні розміри будівлі;
- провідник сітки проходить по гребню даху, якщо нахил даху перевищує 1/10;
- бокові поверхні споруди на рівнях вище, ніж радіус фіктивної сфери (див. табл. 3.2.2), захищені блискавковідводами або сіткою;
- розміри чарунки сітки не більші наданих в табл. 3.2.2;
- сітка виконана таким методом, щоб струм блискавки мав завжди, принаймні, два різні шляхи до заземлювача; ніякі металеві частини не повинні виступати за зовнішні контури сітки.

Провідники сітки повинні бути прокладені, наскільки це можливо, найкоротшими шляхами. Якщо казати про метод захисного кута, то єдиний мінус даного методу полягає в тому, що висоту блискавковідводу потрібно визначати практичним шляхом. Методом підбору. Тому при такому ж самому розташуванні блискавковідводу як у попередньому методі, висота його складе мінімум 5 м, що менше в 1,6 разів в порівнянні з попереднім розрахунком. Цей результат є більш прийнятним.

					КП 3.6.141.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

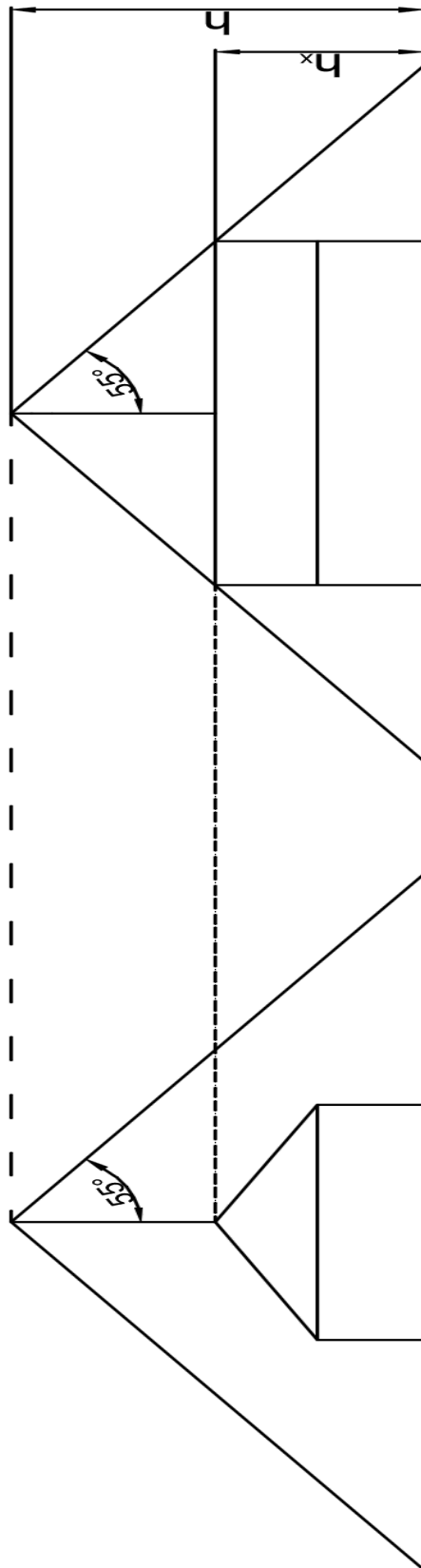


Рис. 3.2.3 – Зона захисту одиничного стрижньового блискавковідводу використовуючи метод захисного кута

					КП 3.6.141.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Зони захисту одиничного тросового блискавковідводу

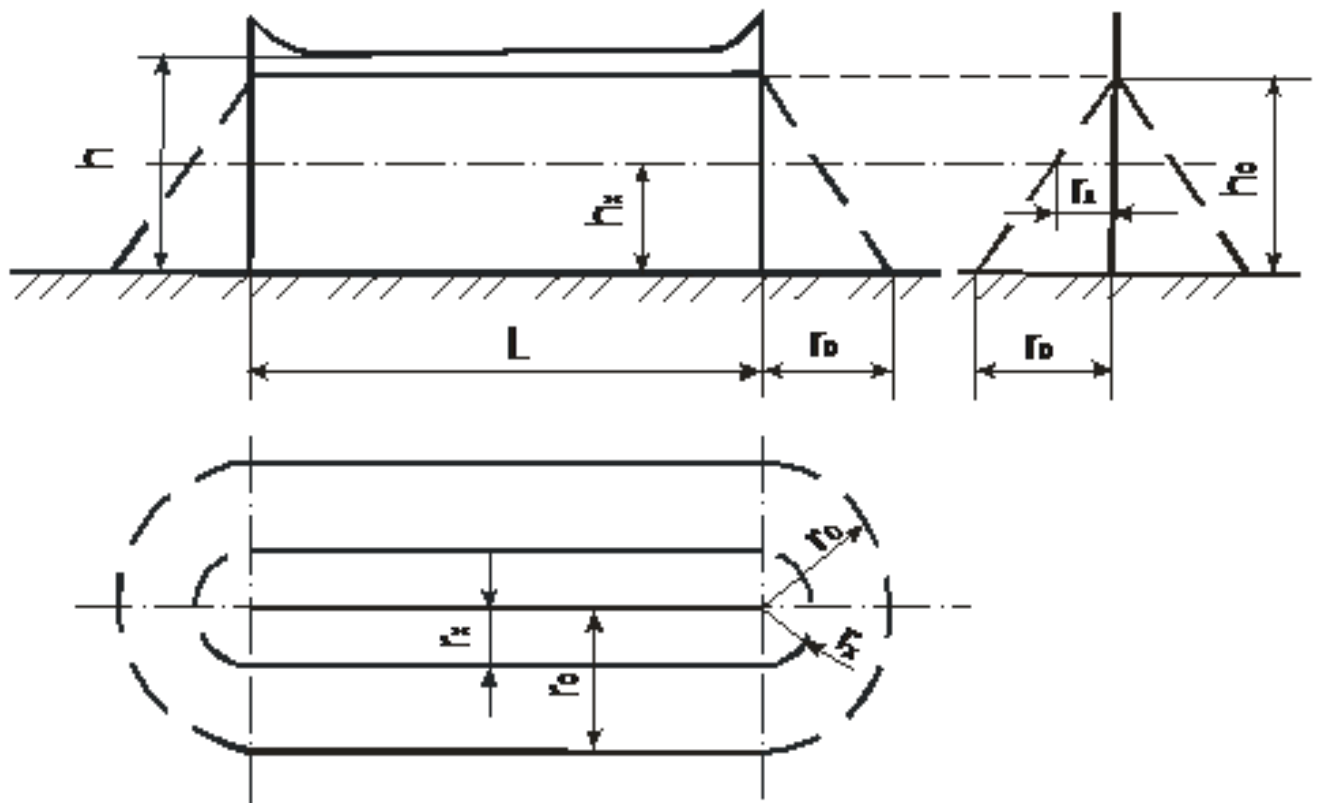
Згідно з ДСТУ Б В.2.5-38:2008:

7.3.1 Стандартні зони захисту одиничного тросового блискавковідводу висотою h обмежені симетричними двосхилими поверхнями, що створюють у вертикальному перерізі рівнобедрений трикутник з вершиною на висоті $h_0 < h$ і основою на рівні землі $2r_0$ рис. 3.2.4.

7.3.2 Наведені нижче розрахункові формули (табл. 3.2.3) придатні для блискавковідводів висотою до 150 м. При більшій висоті слід користуватися спеціальним програмним забезпеченням. Тут і далі під h розуміється мінімальна висота троса над рівнем землі (з урахуванням провисання). Напівширина r_x зони захисту необхідної надійності одиничного тросового блискавковідводу на висоті h_x від поверхні землі визначається так само як і для одиничного стрижньового блискавковідводу.

Таблиця 3.2.3 - Розрахунок зони захисту одиничного тросового блискавковідводу

Надійність захисту P_3	Висота блискавковідводу h , м	Висота конуса h_0 , м	Радіус конуса r_0 , м
0,9	від 0 до 150	$0,87 h$	$1,5 h$
0,99	від 0 до 30	$0,8 h$	$0,95 h$
	від 30 до 100	$0,8 h$	$[0,95 - 7,14 \cdot 10^{-4}(h - 30)]h$
	від 100 до 150	$0,8 h$	$[0,9 - 10^{-3}(h - 100)] h$
0,999	від 0 до 30	$0,75 h$	$0,7 h$
	від 30 до 100	$[0,75 - 4,28 \cdot 10^{-4}(h - 30)] h$	$[0,7 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h - 30)] h$
	від 100 до 150	$[0,72 - 10^{-3}(h - 100)] h$	$[0,6 - 10^{-3}(h - 100)] h$



h – мінімальна висота тросу над рівнем землі

h_0 - висота конуса

r_0 - радіус конуса

r_x - напівширина зони захисту на висоті h_x від поверхні землі

L - відстань між точками підвісу тросів

Рис. 3.2.4 – Зона захисту одиничного тросового блискавковідводу

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КП 3.6.14.1.141 ПЗ

Арк.

65

Відмінність розрахунку буде полягати в декількох аспектах. Перше, блискавковідводи будуть розташовані на відстані 1,5 м від краю даху, тобто відстань між точками підвісів тросів L' буде дорівнювати:

$$L' = L - 1,5 - 1,5 = 14,3 - 1,5 - 1,5 = 11,3 \text{ м}$$

Друге, так як блискавковідводи розміщені по центру відносно ширини будівлі, то радіус r_X буде дорівнювати $0,5S$. Знаючи це, розрахунок буде аналогічний.

$$r_X = 0,5 * S = 0,5 * 9,8 = 4,93 \text{ м}$$

$$h = h_x + h'$$

$$r_0 = 1,5 * h$$

$$h_0 = 0,87 * h$$

Тоді знаючи r_X , підставимо в формулу інші величини виражені відносно h :

$$r_X = \frac{r_0 * (h_0 - h_x)}{h_0} \rightarrow 4,93 = \frac{1,5 * h * (0,87 * h - 5,1)}{0,87 * h}$$

Скоротимо на h :

$$4,93 = \frac{1,5 * (0,87 * h - 5,1)}{0,87}$$

Відкриємо дужки:

$$4,93 = \frac{1,305 * h - 7,65}{0,87}$$

Перенесемо відомі та невідомі:

$$1,305 * h - 7,65 = 4,93 * 0,87$$

Знайдемо загальну висоту:

$$h = \frac{4,93 * 0,87 + 7,65}{1,305} = 9,15$$

Тоді висота самого блискавковідводу складе:

$$h = h_x + h' \rightarrow h' = 9,15 - 5,1 = 4,05 \text{ м}$$

Знайдемо решту параметрів:

$$h_0 = 0,85 * h = 0,87 * 9,15 = 7,96 \text{ м}$$

$$r_0 = 1,2 * h = 1,5 * 9,15 = 13,72 \text{ м}$$

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

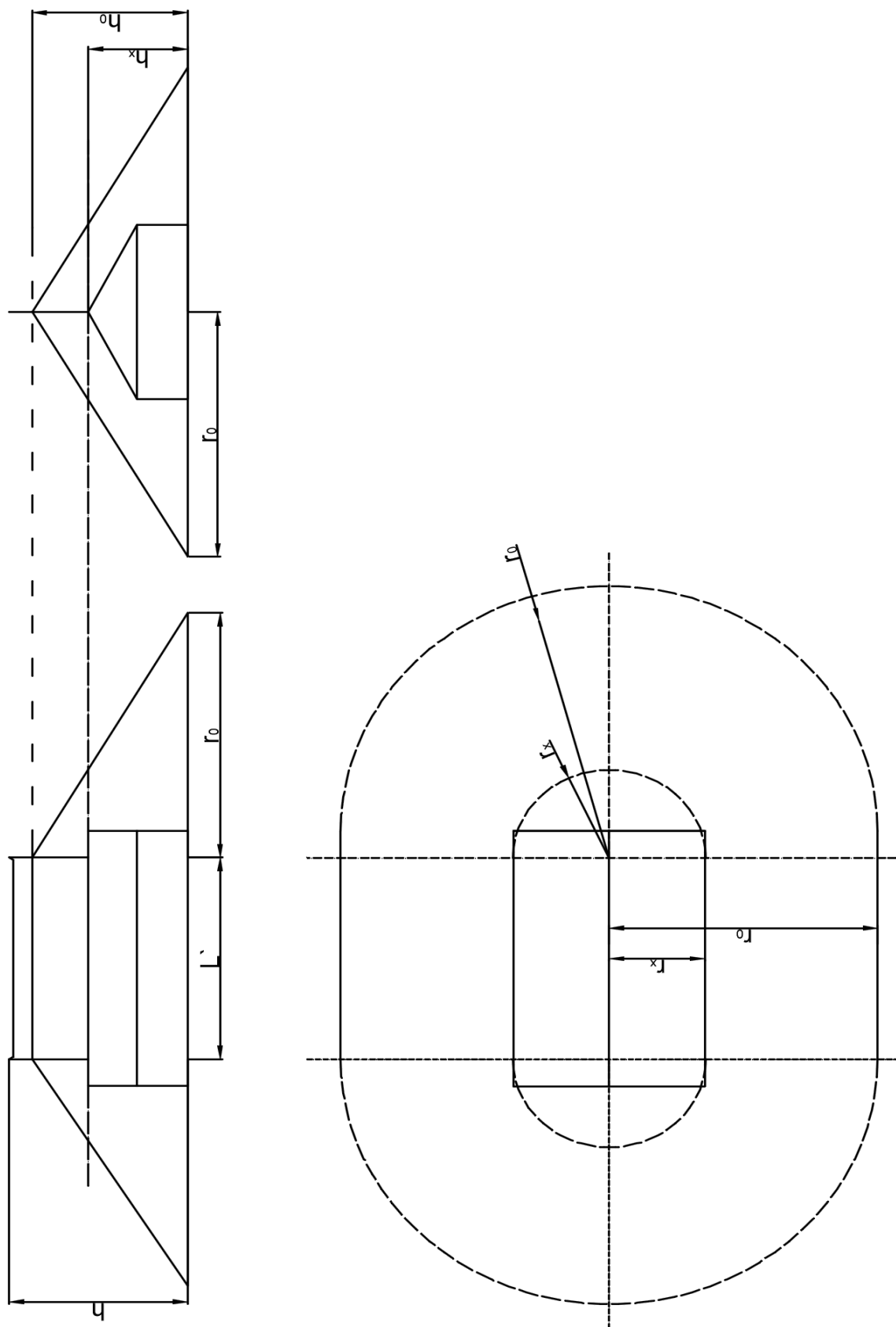


Рис. 3.2.5 – Зона захисту стрижньового блискавковідводу

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КП 3.6.141.141 ПЗ

Арк.

67

Визначення зон захисту блискавковідводів методом захисної сітки

Встановлення захисної сітки, мабуть, найпростіший метод з усіх, з точки зору розрахунку. Адже єдине, що потрібно для встановлення це дотримання правил та норм для власне встановлення захисної сітки відповідно до пунктів 7.7.3 та 7.7.6. Дотримуючись цих правил, я зобразив схематичне розташування сітки червоною лінією вздовж країв даху будинку та його гребня на вигляді вид зверху рис. 3.2.4. Враховуючи довжину та ширину будинку, яка менша ніж крок чарунки сітки згідно таблиці 3.2.2, то цього цілком достатньо. Також важливою умовою була наявність щонайменше двох блискавковідводів. Пізніше ці блискавковідводи будуть скореговані відповідно до контуру заземлення.

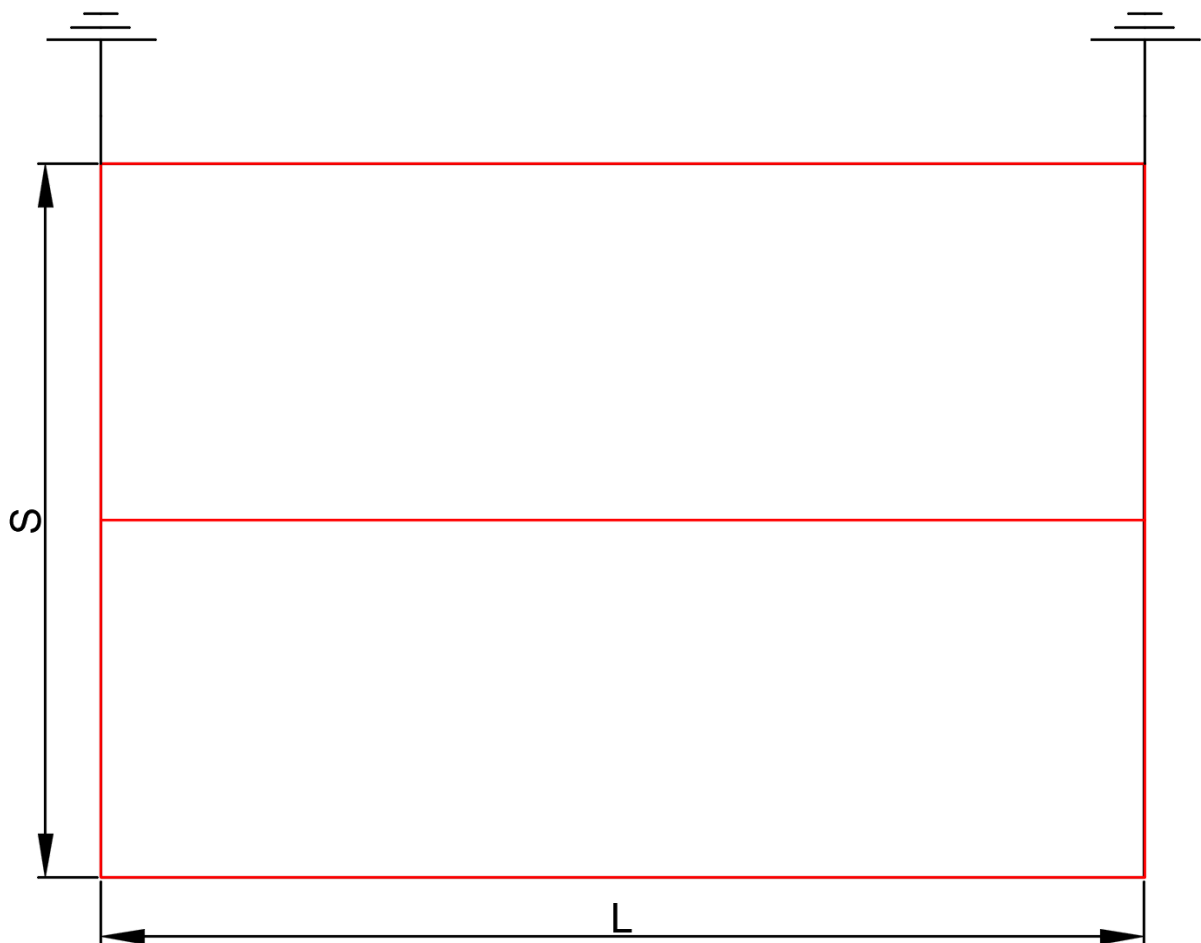


Рис. 3.2.4 – Зона захисту захисної сітки

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Отже, з розглянутих методів, найбільш доцільний, на мою думку, це виконання блискавкозахисту за допомогою захисної сітки. Параметри блискавкоприймача та струмовідводу вже були наведені в табл. 3.1.1. З дозволених матеріалів я візьму алюміній. Адже він краще чинить опір корозії аніж сталь, та дешевший у порівнянні з міддю. Також алюміній на дивлячись на свою дешевизну доволі твердий та жорсткий при цьому м'який та пластичний метал в порівнянні зі сталлю. Тому легше буде використовувати алюміній аніж сталь при монтажі.

Інші варіанти виконання блискавкозахисту не підійшли, через велику висоту блискавковідводу, який так чи інакше буде псувати зовнішній вигляд будинку. Якби імовірність потрапляння блискавки в будинок була більшою, або висота будинку була б вищою, або важливість обладнання в середині була важливішою аніж зовнішній вигляд, то беззаперечно я б обрав одиничний тросовий блискавковідвід. Він має найменшу висоту в порівнянні зі стрижньовими блискавковідводами, а рівень захисту такий самий.

Проте вибір блискавковідводу та струмовідводу це лише одна половина грозозахисту – зовнішня. Для захисту від вторинних факторів прямого або близького до об'єкта, що захищається, удару блискавки використовують різні типи спеціальних приладів, так звані ПЗПП - пристрої захисту від імпульсних перенапруг. Це внутрішній захист, не менш важлива частина комплексної системи блискавкозахисту. Сучасний будинок неможливо уявити без електронних пристроїв і систем, як-от "розумний дім", охоронна й пожежна сигналізація, відеоспостереження, зарядка для електромобіля, супутникове телебачення, мережа інтернет, SmartTV та інші чутливі мережі й обладнання. Сьогодні багато систем є буденними для нас, ми звикли до комфорту та зручності, які забезпечують сучасні технології, і що більше в оселі цифрових пристроїв, то важливіше їх захистити від вторинних впливів блискавки, адже по суті це захист саме нашого комфорту та звичного ритму життя. Тому далі потрібно більш детально розглянути ці так звані ПЗПП та розібратися які самі потрібно встановлювати.

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
						69
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3 Розрахунок внутрішнього блискавкозахисту (ПЗІП)

Гроза це стихійне явище і прорахувати його досі не особливо виходить. При цьому блискавці зовсім не обов'язково потрапляти прямо в лінію електропередач. Досить вдарити поряд із нею. Навіть такий грозовий розряд викликає підвищення напруги в мережі до кількох кіловольт. Крім виходу з ладу обладнання це ще загрожує і розвитком пожежі.

Навіть коли блискавка вдаряє відносно далеко від ПЛ, у мережах виникають імпульсні стрибки, які виводять з ладу електронні компоненти домашньої техніки. Сучасний електронний лічильник з його начинкою, теж може постраждати від цього імпульсу. Блискавка може вдарити в ЛЕП за кілька кілометрів від будинку, а імпульс все одно прилетить у розетку. Тому, незважаючи на їхню вартість, задуматися про купівлю ПЗІП потрібно всім споживачам електрики.

На сьогодні всі пристрої від імпульсних перенапруг діляться на три класи. І кожен з них виконує свою роль. Модуль першого класу гасить основний імпульс, він встановлюється на головному ввідному щиті. Після погашення найбільшої перенапруги, залишковий імпульс приймає на себе ПЗІП 2 класу. Він монтується в розподільному щитку будинку та обмежує імпульс напруги до 2500 В. Третій модуль захищає вже безпосередньо конкретного споживача та обмежує напругу до 1500 В. Такий імпульс здатні витримати більшість пристроїв. Необхідність встановлення ПЗІП відповідних класів залежить від наявності зовнішнього блискавкозахисту. Якщо він є, то рекомендовано встановлювати ПЗІП 1,2,3, класів. Якщо відсутній, то лише 2 та 3 [13].

Важливими параметрами вибору є наявність ПЛ або КЛ, відстань від ПЗІП до обладнання та захисного заземлення, тип системи заземлення яка враховує чи поєднаний зовнішній грозозахист з шиною РЕ в будинку через спільний контур заземлення чи ні (в залежності від цього буде різний номінал та кількість полюсів ПЗІП, також від цього залежать різні варіанти підключення залежно від типу перенапруги: синфазне та протифазне). Щоб облегшити вибір, можна використати готовий алгоритм, який дозволить правильно вибрати ПЗІП враховуючи все вище

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
						70
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наведене [14].

Спочатку за алгоритмом А, потрібно визначити та вибрати ПЗІП першого ступеня (І-ІІ клас). Відповідно до наявного зовнішнього блискавкозахисту, ПЛІ 0,4 кВ, системи заземлення ТТ, 3 фазної мережі з наявним N провідником рекомендовано до встановлення ПЗІП І+ІІ (3р+1) класу з наступними основними параметрами наведеними в табл. 3.3.1:

Таблиця 3.3.1 – Технічні характеристики ПЗІП І+ІІ класу

Найменування параметра	Позначення	Значення
Максимальна тривала робоча напруга (L-N)/(N-PE)	U_C	255 В
Імпульсний струм (10/350 мкс) (L-N)	I_{IMP}	25 кА
Імпульсний струм (10/350 мкс) (N-PE)	I_{TOTAL}	50 кА
Номінальний розрядний струм (8/20 мкс) (L-N)	I_N	50 кА
Максимальний розрядний струм (8/20 мкс) (L-N)/(N-PE)	I_{MAX}	75 кА
Рівень напруги захисту (L-N)/(N-PE)	U_P	$\leq 1,5$ кВ
Час спрацьовування (L-N)/(N-PE)	t_A	≤ 100 нс
Здатність гасіння супроводжуючого змінного струму	I_F	2 кА

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
						71
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 3.3.1

Тимчасова перенапруга (L-N)	U_T	355 В/5 с
Тимчасова перенапруга (N-PE)	U_T	1200 В/200 мс
Діапазон робочих температур	T_U	від -40 °С до +80 °С

Для вибору ПЗП III класу знадобиться алгоритм D. Відповідно до наявної електроніки в будинку загального призначення (побутові прилади, комп'ютери тощо), попередньо встановленого ПЗП I+II класу, відстанню від ПЗП до обладнання 15-30 м, та 3 фазної мережі рекомендовано до встановлення ПЗП III (3р+1) класу з наступними параметрами наведеними в табл. 3.3.2:

Таблиця 3.3.2 – Технічні характеристики ПЗП III класу

Найменування параметра	Позначення	Значення
Максимальна тривала робоча напруга (L-N)/(N-PE)	U_C	320 В
Номінальний розрядний струм (8/20 мкс) (L-N)	I_N	3 кА
Номінальний розрядний струм (8/20 мкс) (L+N-PE)	I_N	5 кА
Номінальний струм навантаження	I_L	16 А
Рівень напруги захисту (L-N)	U_P	$\leq 1,5$ кВ

Продовження таблиці 3.3.2

Рівень напруги захисту (L/N-PE)	U_P	$\leq 1,5$ кВ
Час спрацьовування (L-N)	t_A	≤ 25 нс
Час спрацьовування (L/N-PE)	t_A	≤ 100 нс
Діапазон робочих температур	T_U	від -40 °C до $+80$ °C

Я вважаю, що ПЗІП I+II класу для захисту побутового обладнання вистачить. III клас не потрібний так як не має такого важливого та чутливого обладнання. А так як ПЗІП I+II класу обмежують напругу менше ніж 1,5 кВ, цього цілком достатньо для всієї побутової електроніки в будинку.

Наступним етапом перед встановленням ПЗІП потрібно визначитись з його захистом. Це може бути автоматичний вимикач або запобіжник. В експлуатації на ПЗІП можуть впливати не розрахункові навантаження: імпульси струму блискавки з великою амплітудою, тривале підвищення напруги промислової частоти, короткочасне підвищення напруги під час увімкнення і вимкнення навантаження з реактивним опором. Під час старіння варисторів збільшується струм витоку через ПЗІП обмежувального типу. Такі події можуть призвести до виходу ПЗІП з ладу. Однією зі сходинок захисту при розв'язанні задачі відключення струму КЗ є захисна комутаційна апаратура. На ділянці ланцюга послідовно з ПЗІП рекомендується використовувати запобіжники, що мають порівняно з автоматичними вимикачами певні переваги: стійкість до протікання імпульсного струму (плавкі вставки типу gG); низьким індуктивним опором, падіння напруги на якому під час протікання струму блискавки не призводить до збільшення рівня захисту ПЗІП; простою та надійною конструкцією. Слід мати на увазі, що згідно з дослідженнями, автоматичний вимикач у ланцюзі ПЗІП з великою ймовірністю відключиться після протікання їм імпульсного струму блискавки. Відповідно, відключиться ПЗІП і обладнання залишиться без захисту. Якщо припустити, що в рамках однієї грози можливе кілька уражень об'єкта або близьких ударів блискавки, або що до моменту

виявлення					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

відключеного вимикача можливе повторення грози, то така ситуація може виявитися неприйнятною. Крім того, вимикач може бути пошкоджений унаслідок неуспішних спроб вимкнення імпульсного струму. У цьому разі вимикач перестане виконувати свої функції із захисту мережі від струмів КЗ у разі виходу з ладу ПЗІП.

Номінали запобіжників і тип їхніх часострумових характеристик визначаються виробником ПЗІП. В моєму випадку за подібних характеристик ПЗІП І-ІІ класу рекомендовано до захисту запобіжник 200 А gL/gG. Однак для мереж малої потужності, де ввідні вимикачі вибирають на невеликі номінальні струми для захисту від струмів КЗ і без урахування впливу імпульсних струмів організувати їх селективну роботу із запобіжником у ланцюзі ПЗІП класу І неможливо. У цьому разі встановлення ПЗІП після ввідного вимикача проводиться без захисного апарату. Така схема за штатного функціонування ПЗІП забезпечить безперервність захисту обладнання під час грозових перенапруг, але призведе до відключення живлення в разі пошкодження ПЗІП. Таким чином, для визначення доцільності встановлення додаткового запобіжника в ланцюг ПЗІП слід зіставити номінальний струм вищого захисного апарату I_{QF} з номінальним струмом запобіжника I_{FU} , рекомендованого виробником ПЗІП: якщо $I_{QF} > I_{FU}$, то доцільно встановити запобіжник у ланцюг ПЗІП; якщо $I_{QF} < I_{FU}$, то запобіжник не встановлюється. Найбільший встановлений автоматичний вимикач має номінал 63 А, запобіжник на 200 А, отже згідно умови запобіжник встановлювати не потрібно.

Схема підключення ПЗІП наведена на рис. 3.3.1. Монтувати ПЗІП в моєму випадку потрібно в ЩР перед ПЗВ паралельно, так як там власне і буде встановлена шина РЕ. При прямому влучанні блискавки в будинок, на шині РЕ з'явиться якась частина струму блискавки, тоді і відпрацює ПЗІП. Обладнання залишиться цілим. Однак при влучанні в лінію, що живить будинок без захисту залишиться лише лічильник. З цієї причини найкращим варіантом є монтування ПЗІП одразу після ввідного автомата перед лічильником. В моєму випадку так зробити не вийде. Тому нова принципова електрична схема, що вже була наведена в підрозділі 2.4 на рис. 2.4.1 за підключеного ПЗІП буде зображена на рис. 3.3.2.

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
						74
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

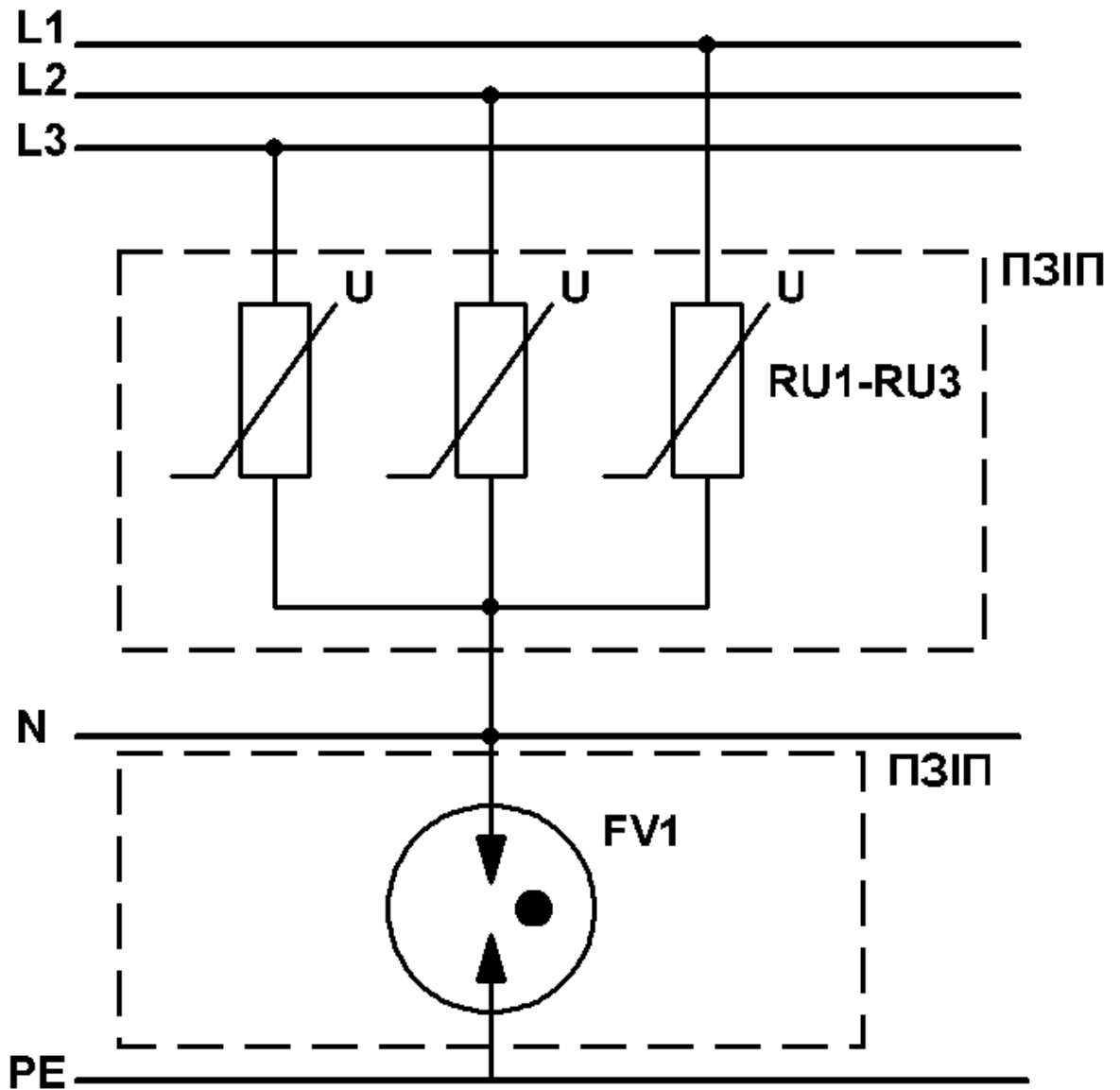


Рис. 3.3.1 – Схема підключення ПЗІП

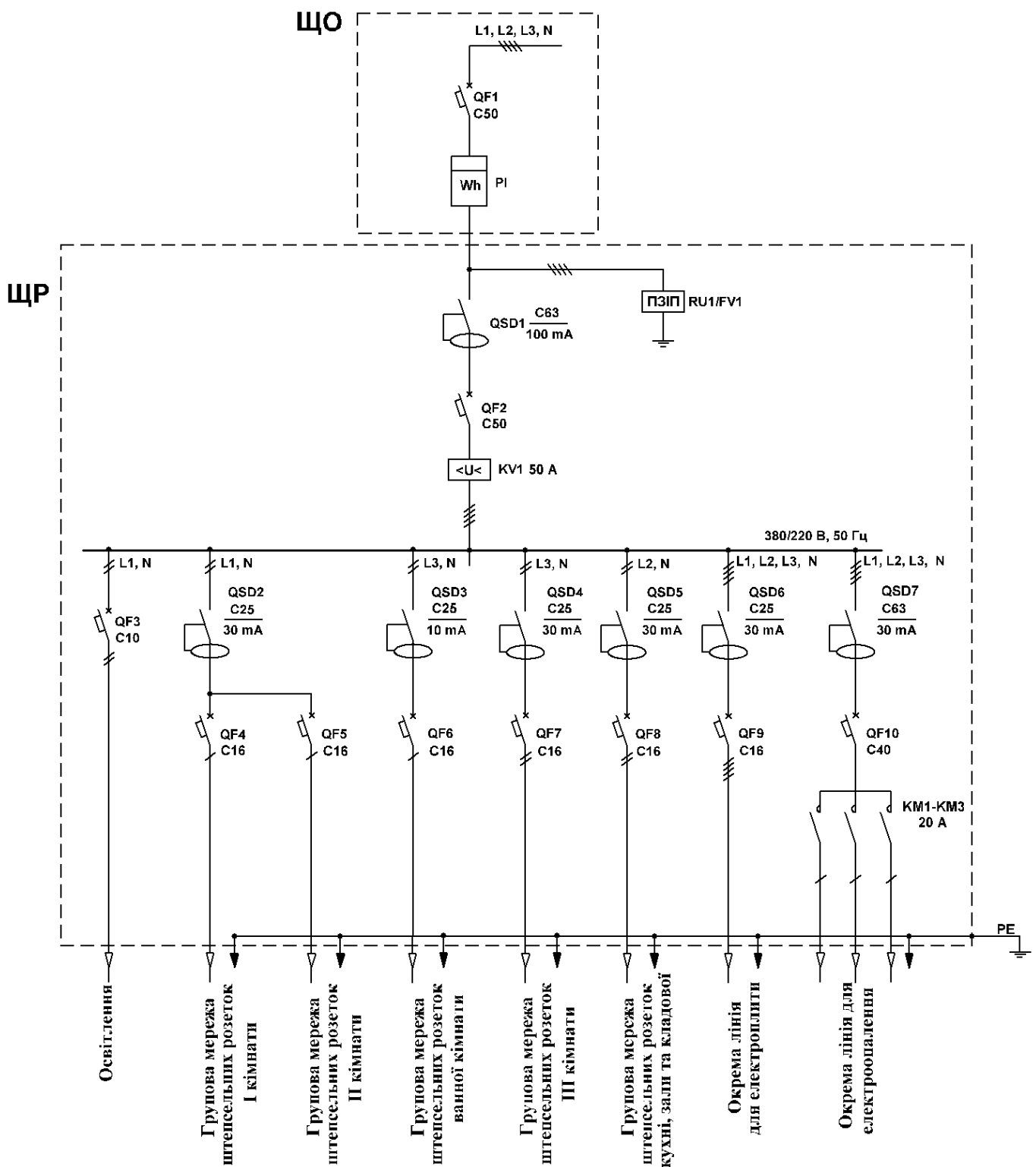

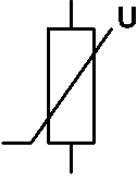
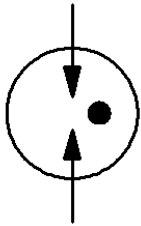


Рис. 3.3.2 – Нова принципова електрична схема підключення внутрішньої електромережі з трифазним вводом

Таблиця 3.3.3 – Схематичні позначення, що зображені на рисунку 3.3.1-3.3.2.

Схематичне позначення	Буквенне позначення	Позначення
	RU_1/FV_1	ПЗІП комбінованого типу
	RU_1-RU_3	Варистор
	FV_1	Дискретний елемент захисту за напругою, двохелектродний іонний розрядник із газовим наповнювачем

За принципом дії ПЗІП діляться на комутуючі, обмежувальні та комбіновані.. ПЗІП комутуючого типу ефективно зрізають перенапругу. Прикладами таких пристроїв є іскрові розрядники, газорозрядні трубки, тиристори. ПЗІП обмежувального типу ефективно обмежують напругу. Прикладами компонентів, що використовуються як нелінійні пристрої, є варистори і діоди. За відсутності перенапруг через такий ПЗІП протікає малий струм витоку.

ПЗІП комбінованого типу містить елементи як комутуючого типу, так і обмежувального типу, які можуть комутувати й обмежувати напругу або можуть виконувати обидві функції. Схема з послідовним з'єднанням розрядника і варистора забезпечує відсутність струму витоку через варистор і супровідного струму мережі через ПЗІП. В даному випадку на рис. 3.3.1 використовуються ПЗІП комбінованого типу.

3.4 Порядок розрахунку захисного заземлення

До початку розрахунку потрібно визначитись з матеріалом для вертикального та горизонтального заземлювачів. Тому згідно табл. 3.1.3 наведеної в підрозділі 3.1, для вертикальних заземлювачів я обираю сталь з гарячим оцинкованим покриттям з типом заземлювача – круглий, діаметр (d) 16 мм²; для горизонтального заземлювача сталь з гарячим оцинкованим покриттям з типом заземлювача – штаба, ширина (b) 30 мм, товщина 3 мм тобто переріз 3*30 = 90 мм².

Далі потрібно визначитись з опором ґрунту. Згідно карти ґрунтів наведеної на рис. 1.3.3 в підрозділі 1.3 на місці де розташована земельна ділянка переважають чорноземи. Однак як я вже раніше казав це лише верхній шар ґрунту з товщиною (H) в середньому 40 см. Заглиблення вертикального заземлювача (t) повинне складати не менше 70 см. З власного досвіду можу сказати, що нижній шар ґрунту в тій місцевості щось середнє між глиною та піском, супісок. Питомий опір встановлених ґрунтів наведений в табл. 3.4.1.

Таблиця 3.4.1 – Питомий опір ґрунту

Ґрунт	Питомий опір, Ом*м
Торф	20
Чорнозем	50
Глина	60
Супісок	150
Пісок за ґрунтових вод до 5 м	500
Пісок за ґрунтових вод глибше 5 м	1000

Для визначення кліматичного коефіцієнта як для вертикального, так і горизонтального заземлювачів потрібно визначити в якій кліматичній зоні розташована земельна ділянка. Для цього потрібно знати багаторічні середні найнижчі та найвищі температури за січень та липень відповідно. Згідно з даними отриманими на сайті, ділянка знаходиться в III кліматичній зоні так як середня

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

мінімальна та максимальна температури за січень та липень складають -9,8 та +25,3 °С відповідно [14]. Відповідні дані наведені в табл. 3.4.2.

Таблиця 3.4.2 – Значення сезонного кліматичного коефіцієнту опору ґрунту

Тип заземлюючих електродів	Кліматична зона			
	I	II	III	IV
Стрижньовий (вертикальний)	1,8-2	1,5-1,8	1,4-1,6	1,2-1,4
Смуговий (горизонтальний)	4,5-7	3,5-4,5	2-2,5	1,5
Кліматичні признаки зон				
Середня багаторічна найнижча температура (січень)	від -20 до +15	від -14 до +10	від -10 до 0	від 0 до +5
Середня багаторічна найвища температура (липень)	від +16 до +18	від +18 до +22	від +22 до +24	від +24 до +26

Також важливими питанням залишається нормований опір ґрунту (R_n). Згідно з ПУЕ п.1.7.62 наведеним в підрозділі 3.1 повинна виконуватись наступна умова:

$$R_A \leq \frac{50}{I_{\Delta n}} \quad (3.1.5)$$

але не більше ніж 100 Ом,

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

де R_A – опір заземлювального пристрою, до якого підключено всі відкриті провідні частини, які знаходяться в зоні захисту захисного пристрою;

$I_{\Delta n}$ – струм спрацьовування ПЗВ, А.

Найбільший струм спрацювання ПЗВ 100 мА, тобто 0,1 А тоді опір заземлювача має бути не більше 500 або ж 100 Ом:

$$R_A \leq \frac{50}{0,1} \leq 500$$

Згідно ж того ПУЕ, повторне заземлення за питомого значення опору ґрунту $\rho < 100$ Ом*м повинно бути < 30 Ом. Однак якщо значення питомого опору ґрунту $\rho > 100$ Ом*м, то це значення можна збільшити відповідно до значень наведених в табл. 3.4.3.

Таблиця 3.4.3 – Найбільше допустиме значення опору заземлюючого пристрою

Характеристика електроустановки	Питомий опір ґрунту ρ , Ом*м	Опір Заземлювального пристрою, Ом
Штучний заземлювач, до якого приєднується нейтралі генераторів і трансформаторів, а також повторні заземлювачі нульового проводу (зокрема, у вводах приміщення) у мережах із заземленою нейтраллю на напругу, В:	до 100	15
	більше 100	$0,5 \cdot \rho$
	до 100	30
	більше 100	$0,3 \cdot \rho$
	до 100	60
	більше 100	$0,6 \cdot \rho$

Таблиця 3.4.4. – Коефіцієнт використання заземлювачів

Для горизонтальних заземлювачів				Для вертикальних заземлювачів			
Кількість електродів	В ряд			Кількість електродів	В ряд		
	Відношення відстані між електродами до їх довжини a/L				Відношення відстані між електродами до їх довжини a/L		
	1	2	3		1	2	3
4	0,77	0,89	0,92	2	0,86	0,91	0,94
5	0,74	0,86	0,9	3	0,78	0,87	0,91
8	0,67	0,79	0,85	5	0,7	0,81	0,87
10	0,62	0,75	0,82	10	0,59	0,75	0,81
20	0,42	0,56	0,68	15	0,54	0,71	0,78
30	0,31	0,46	0,58	20	0,49	0,69	0,77
50	0,21	0,36	0,49	-	-	-	-
65	0,2	0,34	0,47	-	-	-	-

Коефіцієнт використання показує, як впливають один на одного струми розтікання одиничних заземлювачів за різного розташування. У разі з'єднання паралельно, струми розтікання поодиноких заземлювачів чинять взаємний вплив один на одного, тому чим ближче розташовані один до одного заземлювальні стрижні, тим загальний опір заземлювального контуру більший. Отримане під час розрахунку число заземлювачів округлюється до найближчого більшого.

Розрахунок починається з визначення еквівалентного питомого опору для двошарового ґрунту:

$$r_{\text{ЕКВ}} = \frac{\Psi_1 * p_1 * p_2 * L}{(p_1 * (L - H + t) + p_2 * (H - t))} \quad (3.4.1)$$

де Ψ_1 – сезонний кліматичний коефіцієнт для вертикального заземлювача взятий з табл. 3.3.2;

p_1, p_2 – питомий опір ґрунту взятий із таблиці 3.3.1, Ом*м;

H – товщина верхнього шару ґрунту, м;

t – заглиблення вертикального заземлювача, м.

Знайшовши еквівалентний питомий опір, можна знайти опір розтікання струму одного вертикального заземлювача:

$$R_0 = \frac{\rho_{\text{ЕКВ}}}{2 * \pi * L} * \left(\ln \left(\frac{2 * L}{d} \right) + 0,5 * \ln \left(\frac{4 * T + L}{4 * T - L} \right) \right) \quad (3.4.2)$$

де $\rho_{\text{ЕКВ}}$ – еквівалентний питомий опір, Ом*м;

L – довжина стрижня, м;

d – діаметр стрижня, м;

T – відстань від поверхні землі до середини стрижня знаходиться за формулою 3.4.3, м.

Заглиблення горизонтального заземлювача:

$$T = \left(\frac{L}{2} + t \right) \quad (3.4.3)$$

Кількість стрижнів заземлення без урахування опору горизонтального заземлення знаходиться за формулою:

$$n_0 = \frac{R_0 * \Psi_1}{R_H} \quad (3.4.4)$$

де R_H – нормований опір розтіканню струму заземлюючого пристрою взятий з табл. 3.4.3.

Опір розтікання струму для горизонтального заземлювача знаходиться за формулою:

$$R_{\Gamma} = 0,366 * \left(\frac{\rho_{\text{ЕКВ}} * \Psi_2}{L_{\Gamma} * \eta_{\Gamma}} \right) * \lg \left(\frac{2 * L_{\Gamma}^2}{b * t} \right) \quad (3.4.5)$$

де b – ширина заземлювача, м;

Ψ_2 – сезонний кліматичний коефіцієнт для горизонтального заземлювача взятий з табл. 3.4.2;

η_{Γ} – коефіцієнт попиту для горизонтального заземлювача з табл. 3.4.4;

L_{Γ} – довжина горизонтального заземлювача виходячи з кількості вертикальних заземлювачів розрахована за формулою 3.4.6, м.

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

Формула для знаходження довжини горизонтального заземлювача за розташування вертикальних електродів в ряд, параметр a може дорівнювати $1L$, $2L$, $3L$ залежно від довжини вертикальних заземлювачів:

$$L_{\Gamma} = a * (n_0 - 1) \quad (3.4.6)$$

Опір вертикального заземлювача з урахування опору розтікання струму горизонтального заземлювача:

$$R_B = \frac{R_{\Gamma} * R_H}{R_{\Gamma} - R_H} \quad (3.4.7)$$

де R_H – найбільше допустиме значення опору заземлюючого пристрою взятє з табл. 3.4.3, Ом.

Загальна кількість вертикальних заземлювачів визначається за формулою:

$$n = \frac{R_0}{R_B * \eta_B} \quad (3.4.8)$$

де: η_B – коефіцієнт попиту для вертикального заземлювача з табл. 3.4.4.

Заземлювальні пристрої мають задовольняти покладені на них певні вимоги, а саме величини опору розтікання струмів і розподілу небезпечного потенціалу [15].

Розрахунок

За формулами вище почнемо розрахунок контуру заземлення, почнемо з еквівалентного опору, довжину стрижня прийнемо за мінімальну з можливих, а саме $L = 1,5$ м:

$$p_{\text{ЕКВ}} = \frac{\Psi_1 * p_1 * p_2 * L}{(p_1 * (L - H + t) + p_2 * (H - t))} = \frac{1,6 * 50 * 150 * 1,5}{(50 * (1,5 - 0,4 + 0,7) + 150 * (0,4 - 0,7))} = 400 \text{ Ом}$$

Заглиблення горизонтального заземлювача:

$$T = \left(\frac{L}{2} + t\right) = \frac{1,5}{2} + 0,7 = 1,45 \text{ м}$$

Знайшовши еквівалентний питомий опір, можна знайти опір розтікання струму одного вертикального заземлювача:

$$R_0 = \frac{p_{\text{ЕКВ}}}{2 * \pi * L} * \left(\ln\left(\frac{2 * L}{d}\right) + 0,5 * \ln\left(\frac{4 * T + L}{4 * T - L}\right)\right) =$$

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

$$= \frac{400}{2 * \pi * 1,5} * (\ln\left(\frac{2 * 1,5}{0,016}\right) + 0,5 * \ln\left(\frac{4 * 1,45 + 1,5}{4 * 1,45 - 1,5}\right)) = 233,36 \text{ Ом}$$

Кількість стрижнів заземлення без урахування опору горизонтального заземлення знаходиться за формулою:

$$n_0 = \frac{R_0 * \Psi_1}{R_H} = \frac{233,36 * 1,6}{0,3 * 150} = 8,3 = 8 \text{ шт}$$

Формула для знаходження довжини горизонтального заземлювача за розташування вертикальних електродів в ряд, параметр a дорівнює $1L$:

$$L_\Gamma = a * (n_0 - 1) = 1 * 1,5 * (8 - 1) = 10,5 \text{ м}$$

Опір розтікання струму для горизонтального заземлювача знаходиться за формулою:

$$R_\Gamma = 0,366 * \left(\frac{\rho_{\text{ЕКВ}} * \Psi_2}{L_\Gamma * \eta_\Gamma}\right) * \lg\left(\frac{2 * L_\Gamma^2}{b * t}\right) =$$

$$= 0,366 * \left(\frac{400 * 2,5}{10,5 * 0,67}\right) * \lg\left(\frac{2 * 10,5^2}{0,03 * 0,7}\right) = 209,21 \text{ Ом}$$

Опір вертикального заземлювача з урахування опору розтікання струму горизонтального заземлювача:

$$R_B = \frac{R_\Gamma * R_H}{R_\Gamma - R_H} = \frac{209,21 * (0,3 * 150)}{209,21 - (0,3 * 150)} = 57,33 \text{ Ом}$$

Загальна кількість вертикальних заземлювачів визначається за формулою:

$$n = \frac{R_0}{R_B * \eta_B} = \frac{233,36}{57,33 * \left(\frac{0,7 + 0,59}{2}\right)} = 6,31 = 6 \text{ шт}$$

Остаточна довжина горизонтального заземлювача за розташування вертикальних електродів в ряд дорівнює:

$$L_\Gamma = a * (n_0 - 1) = 1 * 1,5 * (6 - 1) = 7,5 \text{ м}$$

Відступ заземлюючого контуру від будинку повинен бути не менше 1 м, але й не більше 10 м, тоді розміри заземлювача зі всіма необхідними параметрами та його схематичне зображення відповідно розташування на земельній ділянці будуть наведені на рис. 3.4.1 та 3.4.2 відповідно.

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

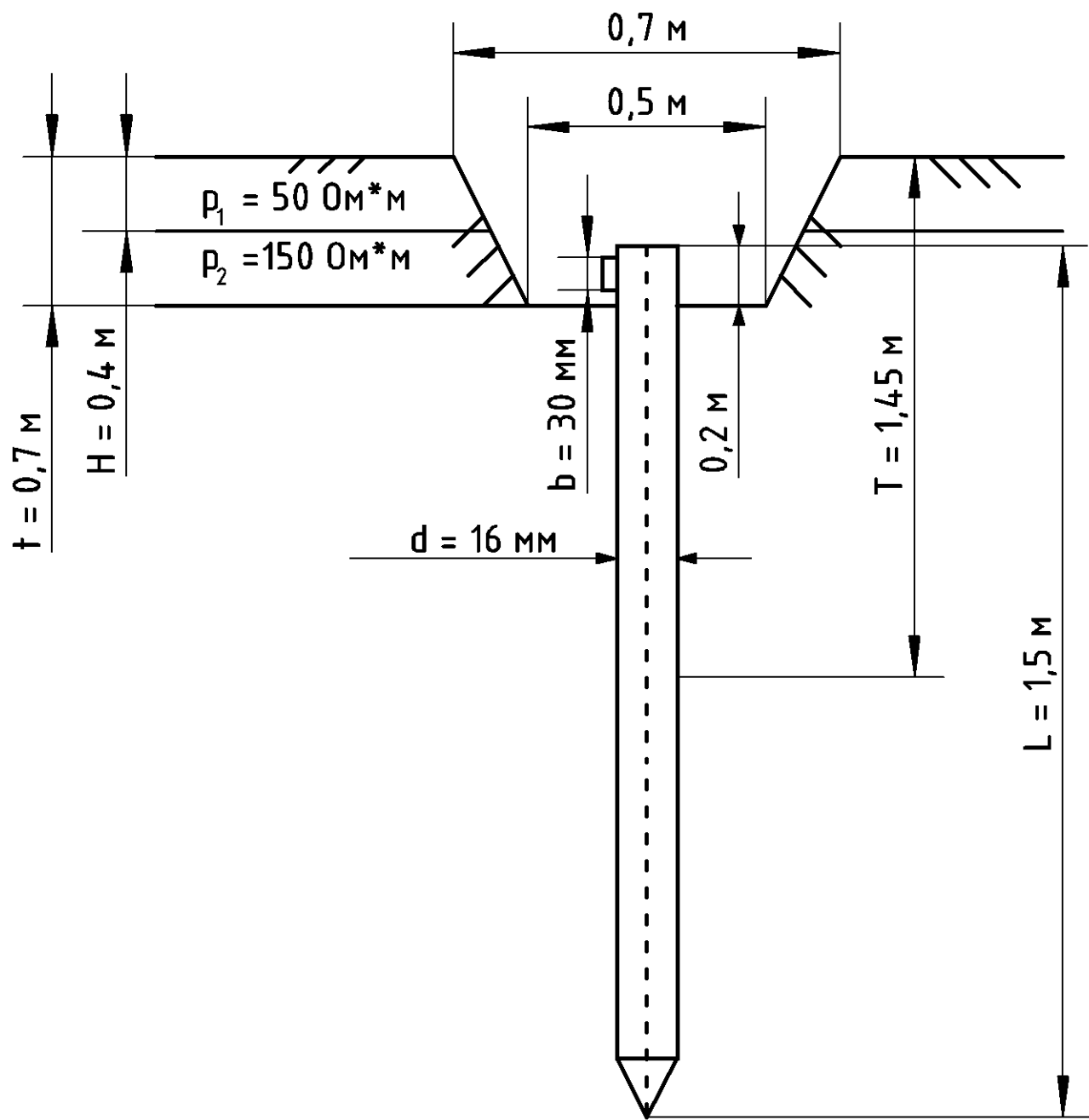


Рис. 3.4.1 – Параметри вертикального заземлювача

										Арк.
										85
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КП 3.6.14.1.141 ПЗ					

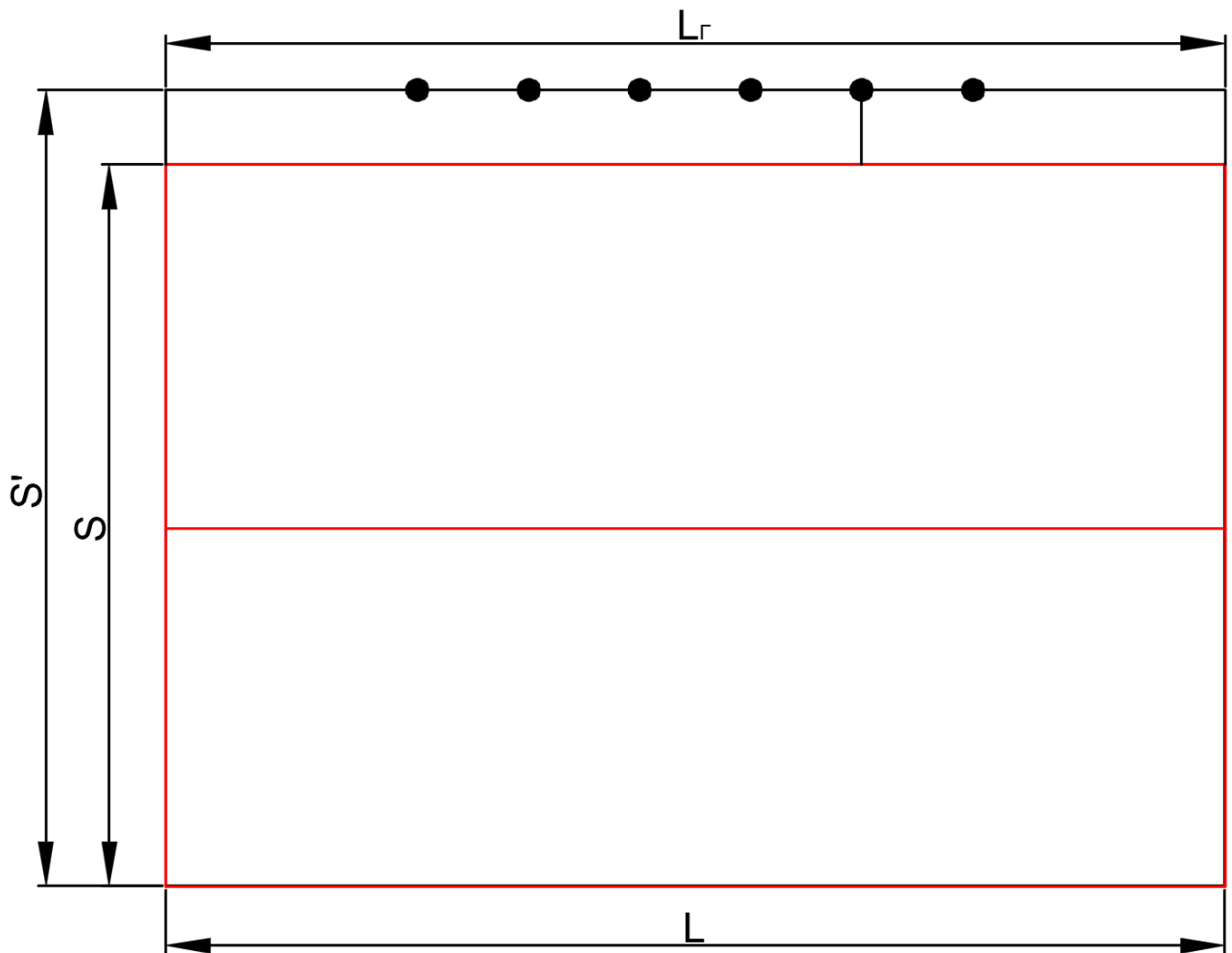


Рис. 3.4.2 – Схематичне розташування контуру заземлення

На рис. 3.4.2 S' - це відстань, що дорівнює $S + 1$ м, де 1 м, це необхідний мінімальний відступ від будинку. Однак довжина горизонтального заземлювача $L_Г$, в цьому випадку не дорівнює 7,5 м, потрібно врахувати також довжину відступу по 1 м з двох боків, що йдуть від струмовідводів грозозахисту, довжину 1 м до будинку до точки підключення, і відповідно 3 м з двох боків відступ для симетричного розташування. В сумі $L_Г = 7,5 + 1 + 1 + 1 + 3 + 3 = 19,5$ м. Після цього подивимось як зміниться кількість заземлювачів, вона не повинна збільшитись. Опір розтікання струму для горизонтального заземлювача знаходиться за формулою:

$$R_Г = 0,366 * \left(\frac{p_{\text{ЕКВ}} * \Psi_2}{L_Г * \eta_Г} \right) * \lg \left(\frac{2 * L_Г^2}{b * t} \right) =$$

$$= 0,366 * \left(\frac{400 * 2,5}{19,5 * 0,67} \right) * \lg \left(\frac{2 * 19,5^2}{0,03 * 0,7} \right) = 127,71 \text{ Ом}$$

Опір вертикального заземлювача з урахування опору розтікання струму горизонтального заземлювача:

$$R_B = \frac{R_\Gamma * R_H}{R_\Gamma - R_H} = \frac{127,71 * (0,3 * 150)}{127,71 - (0,3 * 150)} = 69,48 \text{ Ом}$$

Загальна кількість вертикальних заземлювачів визначається за формулою:

$$n = \frac{R_0}{R_B * \eta_B} = \frac{233,36}{69,48 * \left(\frac{0,7 + 0,59}{2} \right)} = 5,21 = 5 \text{ шт}$$

Отже, за додаткової довжини горизонтального заземлювача, що не була врахована при попередньому розрахунку, опір заземлюючого контуру не збільшився, кількість вертикальних електродів вибрана правильно. На рис. 3.4.2 дотримані всі умови необхідні для правильної спільної роботи та захисту як грозозахисту, так і контуру заземлення. Єдине, що залишилось врахувати, це матеріал та переріз РЕ провідника. Найкращий матеріал, на мою думку, мідь. Отже, обираю її. Як вже було наведено вище в підрозділі 3.1, п. 1.7.121, РЕ провідник підключений до горизонтального заземлювача, що розташований на фасаді будинку має бути перерізом не менше 10 мм² для міді. Далі цей провідник заходить на шину РЕ в ЩР. Звідки вже може бути зменшений до перерізу фазного провідника окремої лінії відповідно до вимог табл. 3.1.4, що розташована також в підрозділі 3.1 п. 1.7.137.

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

РОЗДІЛ 4. ПРОЄКТУВАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

4.1 Точний розрахунок споживаної електроенергії для житлового об'єкта

Для правильного вибору потужності сонячних панелей потрібно більш детально розглянути споживану потужність, що вже була згадана в підрозділі 1.1, табл. 1. Результати наведені в табл. 4.1.1.

Таблиця 4.1.1 – По-місячне використання електроприладів

Електрообладнання	Використана потужність, кВт											
	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
Електролобзик	5,8	5,3	5,8	5,6	5,8	5,6	5,8	5,8	5,6	5,8	5,6	5,8
Дриль	4,7	4,2	4,7	4,5	4,7	4,5	4,7	4,7	4,5	4,7	4,5	4,7
Шліфувальна машина	6,2	5,6	6,2	6,0	6,2	6,0	6,2	6,2	6,0	6,2	6,0	6,2
Компресор	11,6	10,5	11,6	11,3	11,6	11,3	11,6	11,6	11,3	11,6	11,3	11,6
Фен	1,2	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Обігрівач	49,6	44,8	49,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	48,0	49,6
Посудомийна машина	58,9	53,2	58,9	57,0	58,9	57,0	58,9	58,9	57,0	58,9	57,0	58,9
Праска	6,2	5,6	6,2	6,0	6,2	6,0	6,2	6,2	6,0	6,2	6,0	6,2
Порохотяг	3,1	2,8	3,1	3,0	3,1	3,0	3,1	3,1	3,0	3,1	3,0	3,1
Телевізор	18,6	16,8	18,6	18,0	18,6	18,0	18,6	18,6	18,0	18,6	18,0	18,6
Мікрохвильова піч	2,5	2,2	2,5	2,4	2,5	2,4	2,5	2,5	2,4	2,5	2,4	2,5
Холодильник	27,9	25,2	27,9	27,0	27,9	27,0	27,9	27,9	27,0	27,9	27,0	27,9
Електроплита	30,4	27,4	30,4	29,4	30,4	29,4	30,4	30,4	29,4	30,4	29,4	30,4
Електросушарка	6,8	6,2	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8	6,6	6,8
Пральна машина	5,0	4,5	5,0	4,8	5,0	4,8	5,0	5,0	4,8	5,0	4,8	5,0
Освітлення	4,3	3,9	4,3	4,2	4,3	4,2	4,3	4,3	4,2	4,3	4,2	4,3

Продовження таблиці 4.1.1

Кондиціонер	0,0	0,0	0,0	0,0	124	65,7	67,9	67,9	120	0,0	0,0	0,0
Електричний котел	1116	1008	1116	540	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	558	1080	1116
Всього за місяць	1358,8	1227,3	1358,8	720,4	310,4	246,1	254,3	254,3	300,4	751,2	1315,0	1358,8
Всього за рік	9455,7											
В середньому за день	43,8	43,8	43,8	24,0	10,0	8,2	8,2	8,2	10,0	24,2	43,8	43,8

Як видно з таблиці 4.1.1, найбільше споживання електроенергії спостерігається в зимові місяці та дорівнює 1358,8 кВт*год на місяць або ж 43,8 кВт*год на день. В першу чергу через наявне електроопалення, що бере на себе майже всю частку спожитої електроенергії (82 %). І це за мінімального режиму опалення. Це багато, в порівнянні з літніми місяцями де споживання електроенергії 254,3 кВт*год на місяць або ж 8,2 кВт*год на день. Якщо вибрати потужність СЕС за найбільшим добовим споживанням в зимові місяці, то влітку буде велика кількість зайвої електроенергії котру нікуди буде дівати. Тому можна розрахувати середнє добове споживання за добу протягом року яке в свою чергу дорівнює $9455,7/365 = 25,9$ кВт*год на день. Це вже краще, тому для встановлення я буду розглядати середньодобову потужність СЕС – 25,9 кВт.

4.2 Розрахунок сонячної електростанції для покриття власних потреб

Для покриття лише власних потреб рекомендують до встановлення автономні СЕС. Така СЕС на відміну від мережевої не підключена до зеленого тарифу та не ставить на меті продаж електроенергії через що термін її окупності набагато більший. Однак ті ж самі автономні СЕС можуть бути повністю автономні або ж гібридні. Головне завдання автономної СЕС — генерувати й накопичувати достатню кількість сонячної енергії в акумуляторних батареях, які потім живлять споживачів електроенергії в будинку. Вона підходить для тих власників, будинки яких із різних причин складно та/або дорого підключити до електромережі.

Гібридні СЕС встановлюються в тих випадках, коли власник СЕС хоче забезпечити і добрий рівень автономності електропостачання будинку, і мати можливість забирати/віддавати (надлишкову) електроенергію до мережі. Якщо електроенергії, яку виробляють сонячні панелі, не вистачає, а акумуляторні батареї розрядилися до встановленого рівня, то обсяг електроенергії, якої бракує, автоматично починає надходити від зовнішньої мережі через інвертор. Також від зовнішньої мережі підзаряджатимуться акумуляторні батареї до необхідного рівня [16]. Тому кращим варіантом буде саме гібридна СЕС. Схема гібридної СЕС наведена на рис. 4.2.1.

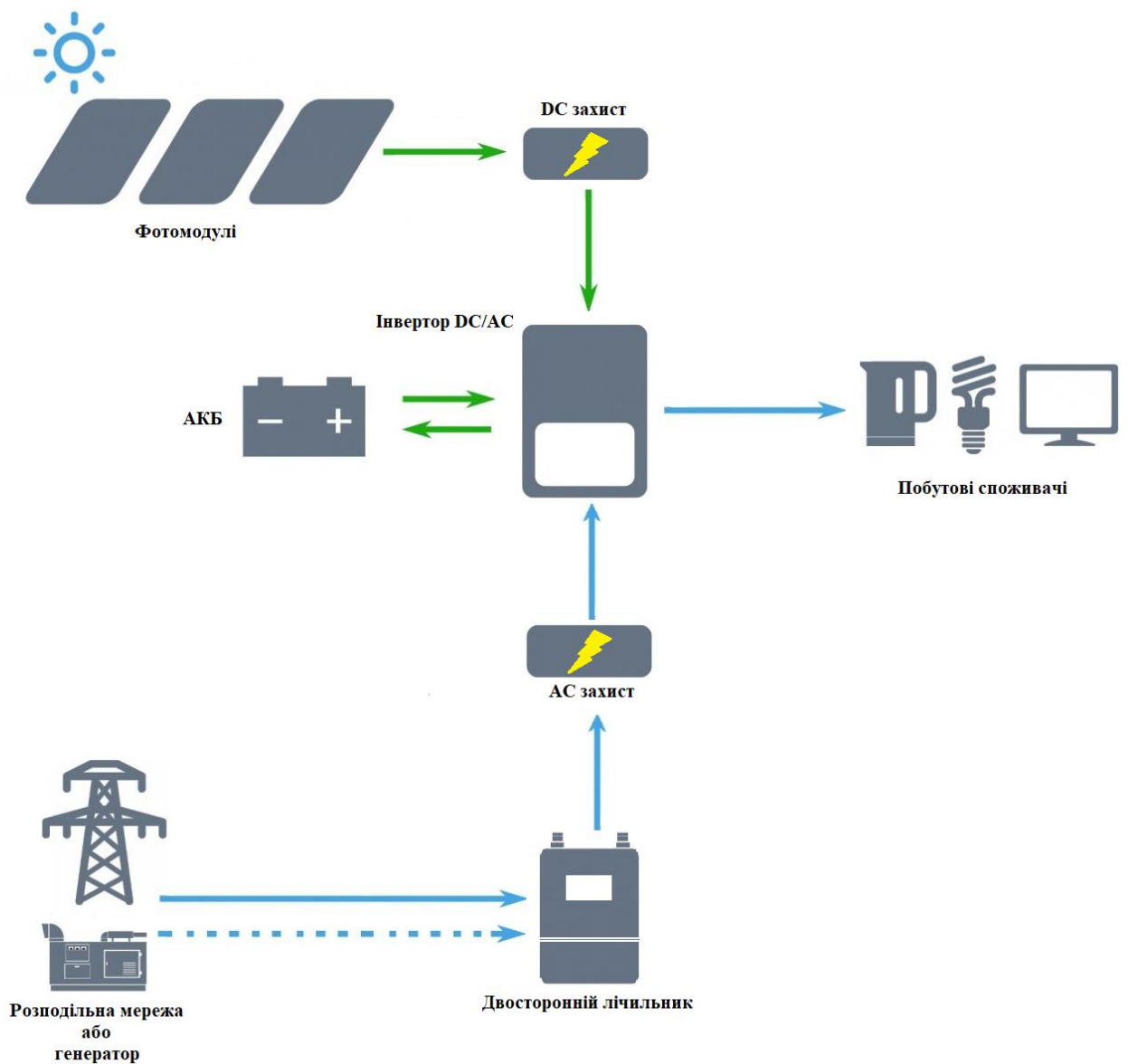


Рис. 4.2.1 – Схематичне зображення гібридної СЕС

Вибір параметрів фотомодулів та інвертора

Вибір типу сонячних панелей (монокристалічна, полікристалічна чи гнучка) в мету моєї роботи не входить. Однак можна сказати, що на сьогодні перевагу віддають гнучким сонячним панелям р-типу. Вони поступаються своїми характеристиками монокристалічним панелям n-типу, мають менший ККД (17,5-20% в порівнянні з 20-22,8%) та ефективність роботи за більш високої температури (температурний коефіцієнт для р-типу в межах 0,35-0,40 %/°C тоді як для n-типу 0,25-0,31 %/°C). Крім того, панелі з елементами n-типу майже завжди перевершуватимуть панелі з елементами р-типу та генеруватимуть довше панелей із елементами р-типу через нижчу швидкість деградації під впливом світла. Такі сонячні батареї забезпечують вищу продуктивність із нижчими темпами деградації та, як правило, мають довший гарантійний термін від виробника, тому часто є розумною та ефективною інвестицією незважаючи на більшу вартість. Високоєфективні панелі з ККД більше 21% із елементами n-типу, як правило, набагато дорожчі, тому, якщо вартість є основним параметром, краще обрати панелі PERC р-типу [17]. Власне як я і зробив. Характеристики обраних сонячних панелей наведені в табл. 4.2.1.

Таблиця 4.2.1 – Характеристика сонячних панелей CS3Y-500MB-AG для СЕС

Характеристика	Значення	Одиниця виміру
Тип модуля	Монокристалічний	-
Максимальна потужність, P_{MAX}	500	Вт
Напруга за максимальної потужності, U_{MPP}	45	В
Струм за максимальної потужності, I_{MPP}	11,12	А
Напруга холостого ходу, U_{OC}	53,7	В

Продовження табл. 4.2.1

Струм короткого замикання, I_{sc}	11,77	А
ККД	21,76	%
Мін. переріз підключення	4,0	мм ²
Діапазон робочих температур	від -40 до +85	°С
Максимальна напруга системи	1500	В
Номінал запобіжника	25	А
Температурний коеф. U_{oc}	-0,26	%/°С
Розміри панелі (В/Ш/Т)	2260x1048x32	мм
Вага	29,9	кг
Клас захисту	IP 68	-

Тепер, знаючи бажану потужність та характеристики панелей, можна розрахувати їх кількість. Найбільше добове споживання виникає у зимові місяці тому формула для розрахунку потужності сонячних панелей виглядає наступним чином:

$$W = k * P * E \quad (4.2.1)$$

де k – фіксоване значення, для літнього періоду дорівнює 0,5 для зимового – 0,7;

P – потужність панелі, Вт;

E – значення сонячної інсоляції, для грудня – 0,86 кВт*год.

Розрахункова кількість панелей визначається за формулою:

$$N = \frac{P_{\text{ДОБ}}}{W} \quad (4.2.2)$$

де $P_{\text{ДОБ}}$ – максимальне добове споживання, кВт*год;

W – розрахункова потужність однієї сонячної панелі.

					КП 3.6.141.141 ПЗ	Арк.
						92
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мені для моїх розрахунків потрібне середнє добове споживання електроенергії замість максимального, середній річний показник сонячної інсоляції та значення коефіцієнта k – приймається рівним 0,5 для більшості місяців. Тоді за формулою 4.2.1 знайдемо розрахункову потужність сонячної панелі:

$$W = k * P * E = 0,5 * 500 * 3,2 = 800 \text{ Вт * год}$$

Тоді необхідна кількість панелей для забезпечення будівлі в середньому протягом року згідно формули 4.2.2 буде дорівнювати:

$$N = \frac{P_{\text{ДОБ}}}{W} = \frac{25900}{800} = 32,24 \approx 32 \text{ шт}$$

Знаючи кількість панелей, їх розміри, можна розрахувати як і по скільки вони займатимуть місця на даху. Для цього перемножимо параметри ширини та довжини будинку, що вже були знайдені в підрозділі 3.2, $S = 9,8$ та $L = 14,3$ м відповідно і отримаємо приблизно $9,8 * 14,3 = 140,14 \text{ м}^2$, тобто $140,14/2 = 70,07 \text{ м}^2$ на кожную сторону даху, так як він двоскатний. Площа панелі відповідно до даних табл. 4.1.2 дорівнює $2,26 * 1,05 = 2,37 \text{ м}^2$. Тобто на одну сторону можна встановити $70,07/2,37 = 29,57$ шт. панелей. Я вирішив розмістити панелі по 16 шт. з'єднаних послідовно на кожную сторону даху, між собою ці дві пари з'єднати паралельно. Напруга всієї СЕС за такого підключення, відповідно до даних напруги одного модуля за максимальної потужності взятої з табл. 4.2.1, буде дорівнювати:

$$U_{\text{МАХ.СЕС}} = U_{\text{МАХ}} * n = 45 * 16 = 720 \text{ В} \quad (4.2.3)$$

де $U_{\text{МАХ}}$ – напруга однієї панелі за максимального навантаження взятої з табл. 4.1.2, В;

n – кількість панелей з'єднаних послідовно.

Знаходження робочої напруги всієї СЕС дозволить правильно вибрати інвертор. Адже потрібно враховувати не лише номінальну потужність всієї установки, а ще й напругу, на якій ця потужність буде передаватись та перетворюватись.

					КП 3.6.141.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

Так як панелі з'єднані послідовно, то відповідно до табл. 4.2.1 струм за максимальної потужності складе 11,12 А. Однак це лише половина панелей. Інший масив з'єднаний паралельно, відповідно максимальний робочий струм буде дорівнювати $11,12 + 11,12 = 22,24$ А. Фактичний робочий струм на практиці буде менший. Тобто максимальне значення вхідного струму інвертору має бути більшим за максимально робочий струм сонячних панелей. Схема відключення панелей до гібридного інвертора наведена на рис. 4.2.2.

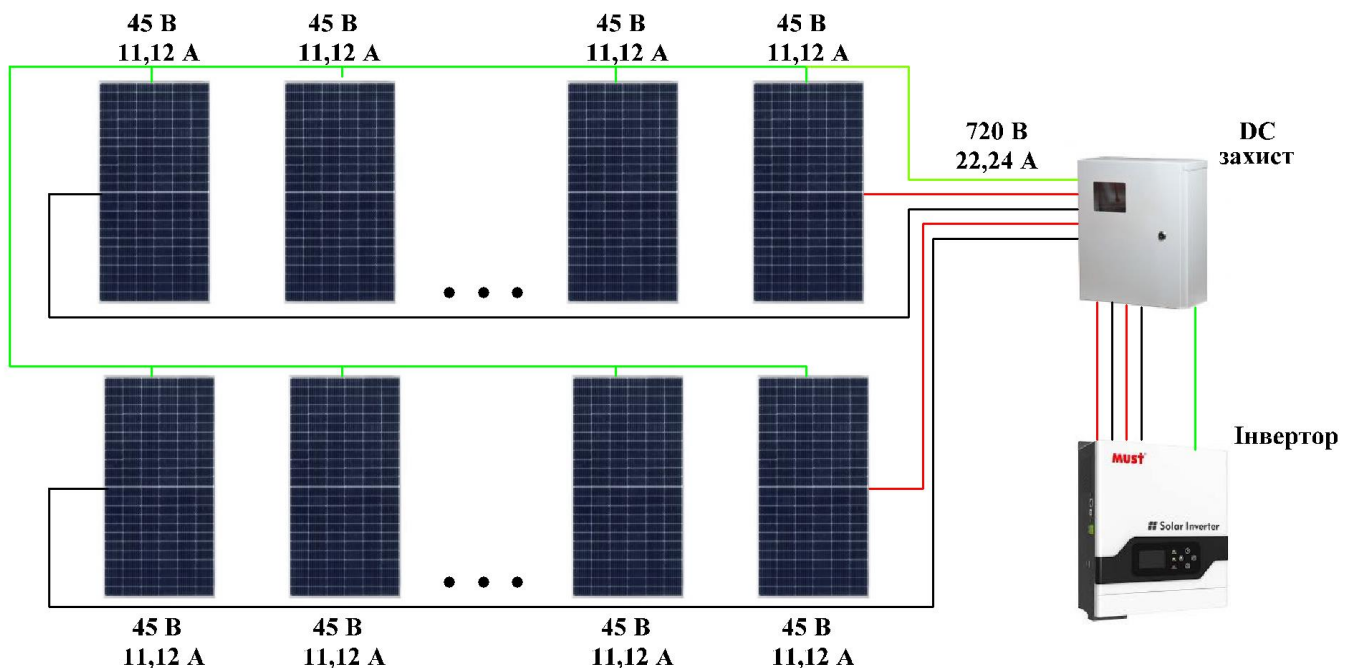


Рис. 4.2.2 – Схема підключення сонячних панелей до гібридного інвертора

Після вибору типу сонячного модуля та його параметрів; визначення схеми підключення, номінальних робочих параметрів та розташування сонячних панелей можна приступати до розрахунку потужності, що генерує СЕС протягом року. Окрім потужності було б гарно знати мінімальну та максимальну напругу СЕС протягом року або ж максимальну можливу потужність, що генерується за годину в найясніший день. Все це дозволяє зробити програма System Advisor Model (SAM), що розроблена Національною лабораторією відновлювальної енергетики США (National Renewable Energy Laboratory, NREL) [18].

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

Особливість роботи в цій програмі полягає у тому, що перед моделюванням СЕС потрібно спочатку вибрати тип сонячної панелі та її конкретні параметри; далі визначитись з потужністю і напругою інвертора (попередньо взяв інвертор на 10 кВт з мінімальною та максимальною напругою DC 450 та 850 В відповідно, потім програма сама підкаже чи потрібно скорегувати параметри інвертора; з цієї причини я інвертор до початку моделювання не обирав, адже не знаю яку максимальну потужність може генерувати СЕС за годину в літній період часу більш точно можна обрати інвертор після моделювання в SAM і в разі чого зробити корегування); врахувати розташування сонячних панелей, їх кут нахилу. Якщо параметри сонячних модулів, та орієнтовну напругу всієї установки я вибрав, то залишилось визначитись з розташуванням і кутом нахилу. Кут нахилу панелей (Tilt (deg)) буде фіксований протягом року і буде дорівнювати куту нахилу даху – 35°. Сторони даху направлені на північ (N) та південь (S) відповідно. Отже азимут (Azimuth (deg)) буде дорівнювати для півночі – 0°, для півдня – 180°. Вікно програми з встановленими параметрами наведено на рис. 4.2.3.

Electrical Configuration	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
	(always enabled)	<input checked="" type="checkbox"/> Enable	<input type="checkbox"/> Enable	<input type="checkbox"/> Enable
Modules per string in subarray	<input type="text" value="16"/>	<input type="text" value="16"/>		
Strings in parallel in subarray	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>		
Number of modules in subarray	<input type="text" value="16"/>	<input type="text" value="16"/>		
String Voc at reference conditions (V)	<input type="text" value="859.2"/>	<input type="text" value="859.2"/>		
String Vmp at reference conditions (V)	<input type="text" value="720.0"/>	<input type="text" value="720.0"/>		
Multiple MPPT Inputs				
Set MPPT inputs	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>		
Set MPPT inputs when Number of MPPT Inputs on the Inverter page is greater than 1.				
Tracking & Orientation				
	<input checked="" type="radio"/> Fixed <input type="radio"/> 1 Axis <input type="radio"/> 2 Axis <input type="radio"/> Azimuth Axis <input type="radio"/> Seasonal Tilt	<input checked="" type="radio"/> Fixed <input type="radio"/> 1 Axis <input type="radio"/> 2 Axis <input type="radio"/> Azimuth Axis <input type="radio"/> Seasonal Tilt		
	<input type="checkbox"/> Tilt=latitude	<input type="checkbox"/> Tilt=latitude		
Tilt (deg)	<input type="text" value="35"/>	<input type="text" value="35"/>		
Azimuth (deg)	<input type="text" value="180"/>	<input type="text" value="0"/>		
Ground coverage ratio (GCR)	<input type="text" value="0.3"/>	<input type="text" value="0.3"/>		
Tracker rotation limit (deg)	<input type="text" value="45"/>	<input type="text" value="45"/>		
Backtracking	<input type="checkbox"/> Enable	<input type="checkbox"/> Enable		
Terrain slope (deg)	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>		
Terrain azimuth (deg)	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>		

Рис. 4.2.3 – Вікно програми з встановленими параметрами

Модулі, як я вже визначив раніше, мають два підмасиви (Subarray 1, Subarray 2) по 16 шт. з'єднаних послідовно (Modules per string in subarray) у кожному. Напруга за максимального навантаження (String Vmp at reference conditions (V)) збігається з розрахованою раніше за формулою 4.2.3 та дорівнює 720 В. Після вибору цих мінімально необхідних даних можна запускати моделювання СЕС. Результати згенерованої потужності СЕС за рік в порівнянні з щоденним споживанням потужності з табл. 4.1.1 зручно навести у вигляді графіку на рис. 4.2.4.

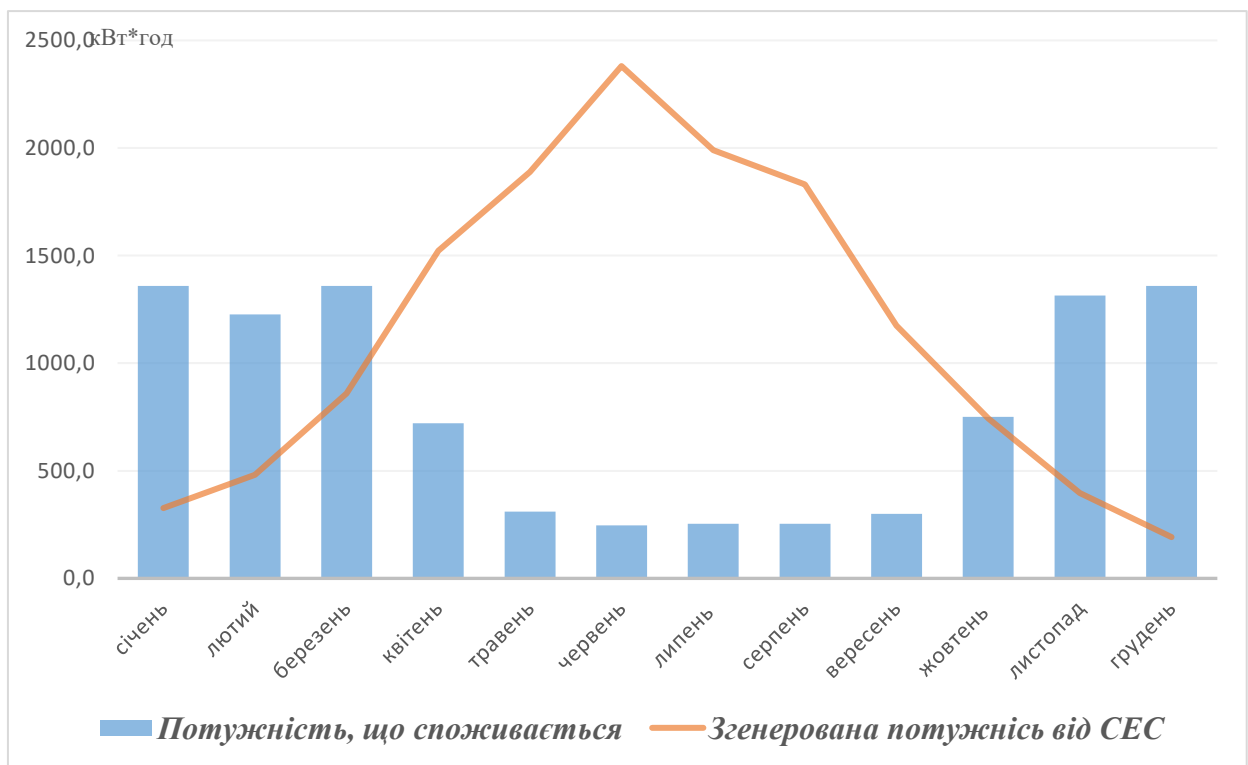


Рис. 4.2.4 – Відношення спожитої потужності до згенерованої СЕС

Як видно з рис. 4.2.4 генерування електроенергії СЕС у зимові місяці в найгіршому випадку у 7 разів менше від споживання. Влітку навпаки у 10 разів більше. Це якщо не враховувати втрати при передачі, втрати в інверторі та ін. що сягають в середньому 4% від згенерованої потужності. За такої генерації більшу частину року, переважно в теплі пори року, електроенергії цілком достатньо. Проте в зимові і більш холодні пори року її катастрофічно буде не вистачати. В середньому за день буде генеруватися близько 6 кВт тоді як тільки на опалення потрібно 36 кВт. За такого сценарію говорити про комфортне життя чи про певну

автономність через проблеми з електропостачанням важко. Тому доведеться компенсувати нестачу генерованої потужності більшою ємкістю батарей, що буде не дешево. Для правильного вибору інвертору було б непогано подивитися яка дійсна мінімальна та максимальна напруга генерується на СЕС протягом дня в зимовий і літній день. Я вибрав грудень та червень, так як саме в ці місяці генерація найменша та найбільша відповідно, та відобразив відповідні дані у вигляді графіка на рис. 4.2.5.

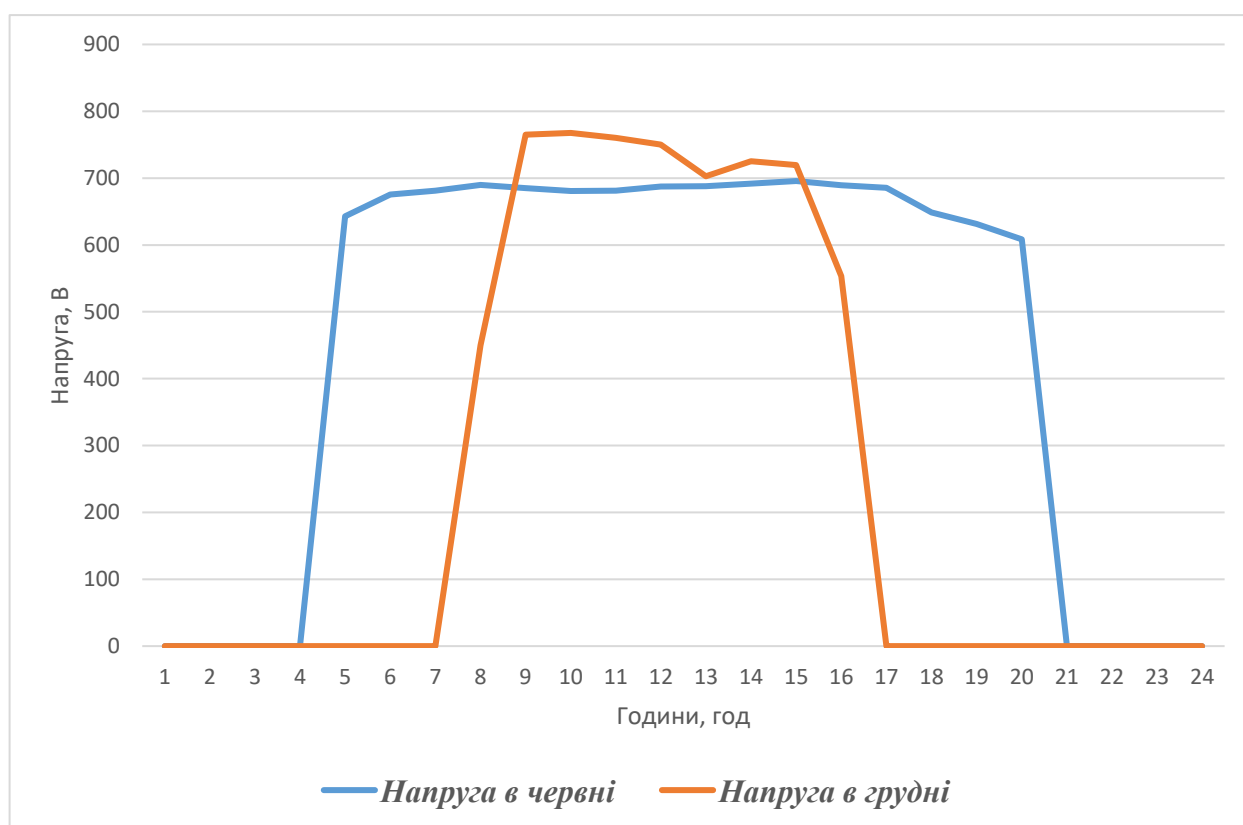


Рис. 4.2.5 – Напруга СЕС в літні та зимові місяці

Особливістю роботи СЕС є те, що за низької температури напруга в системі вища та досягає свого максимуму, незважаючи на те, що згенерована потужність майже ніяка. Тоді як в літні місяці, через високу температуру, напруга навпаки менша та досягає свого мінімуму. З рис. 4.2.5 видно, що $U_{MAX} = 765,23$ В, $U_{MIN} = 350$ В. Залишилось дізнатися яку максимальну потужність може видавати СЕС протягом дня. Для цього я взяв середньостатистичний літній день в червні, так як я за цей місяць згенерована потужність найбільша. Дані зображені на рис. 4.2.6.

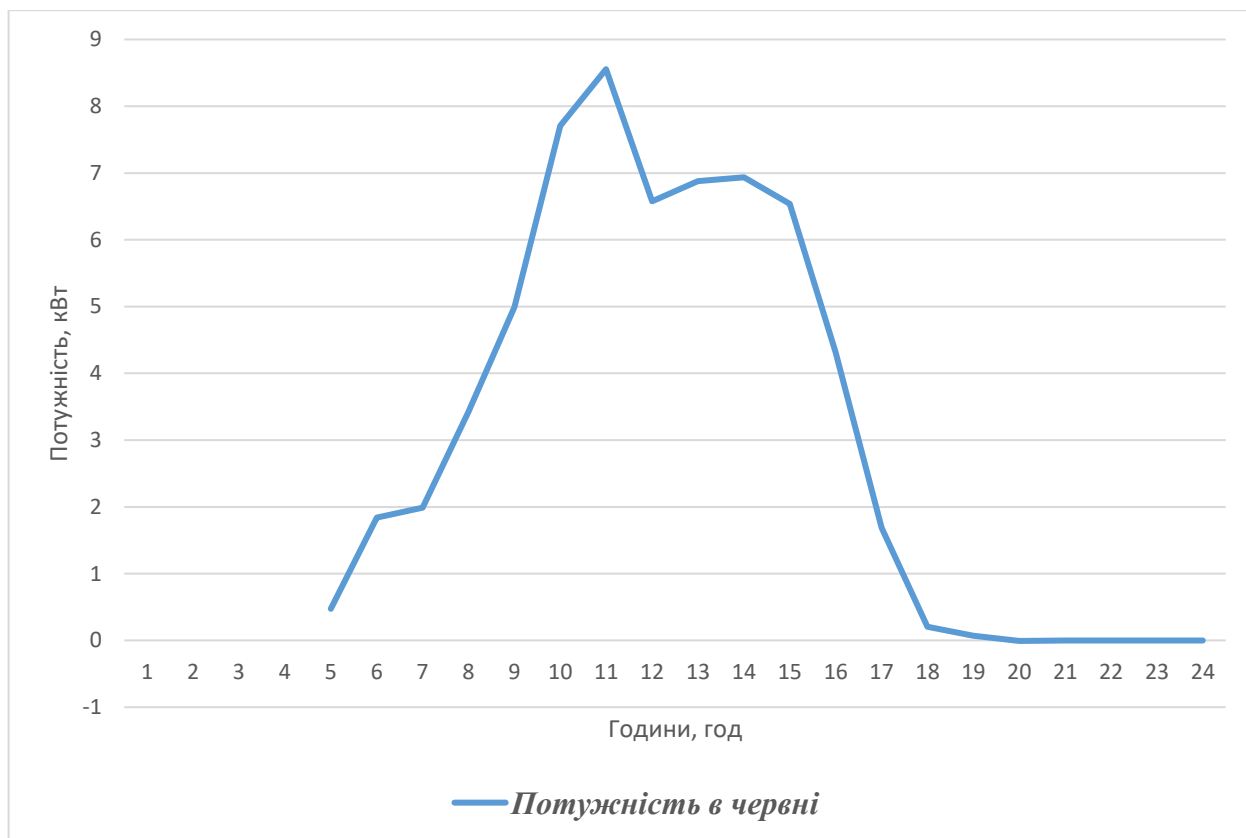


Рис. 4.2.6 – Згенерована потужність СЕС протягом літнього дня

Відповідно до цього, параметри підходящого інвертору будуть наведені в табл. 4.2.2.

Таблиця 4.2.2 – Характеристика інвертора LPW-HMG104815 для гібридної СЕС

Параметр	Значення	Одиниця виміру
Номінальна потужність	10	кВт
Максимальна потужність DC	14,850	кВт
Номінальна напруга DC	720	В
Максимальна напруга DC	850	В
Мінімальна напруга DC	350	В
Кількість MPP	2	шт
Максимальний вхідний струм DC	2*18,6	А

Продовження таблиці 4.2.2

Максимальне значення струму КЗ DC	25	A
Номінальна вхідна потужність AC	10	кВт
Діапазон робочої вхідної напруги AC	170-280 на фазу	B
Максимальний вхідний струм AC	40	A
Номінальна вихідна напруга AC	230 на фазу	B
Діапазон вихідної напруги AC	184-265 на фазу	B
Номінальний вихідний струм AC	14,5 на фазу	A
Максимальний вихідний струм AC	51/1 на фазу	A/c
Максимальна потужність АКБ	10	кВт
ККД (DC-AC) для АКБ	91	%
Номінальна напруга АКБ	48	B
Діапазон робочої напруги АКБ	40-60	B
Максимальний струм заряду АКБ	200	A
Максимальний струм розряду АКБ	275	A

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		99

Продовження таблиці 4.2.2

Розміри інвертора (В/Ш/Т)	622x500x167,2	мм
Вага	45	кг
Клас захисту	IP20	-
Діапазон робочої температури	від -10 до +55	°C

Знаючи параметри СЕС можна визначитись з перерізом кабелю для підключення сонячних панелей. Кабель потрібно вибрати правильно, щоб він підходив за максимальною потужністю яку він може передати, за допустимою напругою, температурою навколишнього середовища тощо. Втрати напруги в кабелі при цьому мають бути бажано не більші за 2% [19]. Тому можна скористатися наступною формулою для розрахунку втрат напруги в мережі постійного струму за одного навантаження в кінці лінії:

$$\Delta U\% = \frac{200}{\gamma_{\theta} * s * U_{НОМ}^2} * P_M * L_M \quad (4.2.4)$$

де γ_{θ} – активна питома провідність, 1м/Ом*мм²;

s – переріз провідника, мм²;

U_{НОМ} – номінальна напруга мережі, кВ;

P_M – номінальна активна потужність мережі, кВт;

L_M – довжина провідника приблизно 10-15 м, в моєму випадку потрібно домножити на 2 для L(+) та L(-), км.

Активна питома провідність знаходиться за формулою:

$$\gamma_{\theta} = \frac{1}{\rho_{\theta}} * C_{\theta} * C_C \quad (4.2.5)$$

де ρ_{θ} – активний питомий опір за температури 20 °C для міді – 0,0175, Ом*мм²/м;

C_θ -температурний коефіцієнт, що враховує зміну питомого активного опору

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

за температури відмінної від 20 °С.

C_c – коефіцієнт скручування, для багатожильного кабелю – 1,02.

Температурний коефіцієнт знаходиться за формулою:

$$C_\theta = 1 + 0,004 * (\theta - 20) \quad (4.2.6)$$

де θ – допустима температура кабелю, в моєму випадку це +90 °С.

Відповідно до формул вище, можна приступати до розрахунку. Попередньо візьму переріз 4 мм², адже це мінімальне значення для підключення сонячних панелей відповідно до табл. 4.2.1. ПУЕ п.1.3.15 та табл. 1.3.11 в цьому випадку регламентують кабелі напругою більше 660 В за постійного струму для одножильних кабелів. Струм в цьому випадку дорівнює 50 А за прокладення в повітрі. Для багатожильних інформація відсутня. Логічно припустити, що за такої мінімальної напруги і такого допустимого струму потужності кабелю цілком вистачить для передачі електроенергії згенерованої на СЕС. Це якщо не враховувати те, що панелі розділені між собою на два підмасиви і фактична потужність у кожному з них в половину менша від номінальної. Температурний коефіцієнт буде дорівнювати:

$$C_\theta = 1 + 0,004 * (\theta - 20) = 1 + 0,004 * (90 - 20) = 1,28$$

Активна питома провідність з врахуванням температурного коефіцієнта та коефіцієнта скручування дорівнює:

$$\gamma_\theta = \frac{1}{\rho_\theta} * C_\theta * C_c = \frac{1}{0,0175} * 1,28 * 1,02 = 74,61 \frac{\text{М}}{\text{Ом} * \text{мм}^2}$$

Тоді знаючи всі величини можна розрахувати втрати напруги:

$$\Delta U\% = \frac{200}{\gamma * s * U_{\text{НОМ}}^2} * P_M * L_M = \frac{200}{74,61 * 4 * 0,35^2} * 10 * 0,015 * 2 = 1,64 \%$$

Навіть з урахуванням того, що я взяв мінімально можливу робочу напругу в системі за максимальної потужності, що цілком нереально, втрати напруги в кабелі не більші за 1,64 %. При цьому робоча температура була максимально можлива.

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		101

Тоді необхідний для підключення кабель має мати параметри наведені в табл. 4.2.3.

Таблиця 4.2.3 – Параметри кабелю для підключення сонячних панелей

Параметр	Значення	Одиниця виміру
Матеріал жили	мідь	-
Переріз	4	мм ²
Номінальна напруга DC	1000	В
Температура експлуатації	від -40 до +90	°С
Тривала температура нагріву	+120	°С

Захист на стороні DC

З боку DC, на якій розташовані сонячні панелі, необхідно встановити запобіжники з тримачами по одному на кожен + і - системи. Вони дадуть змогу захистити фотомодулі та інвертор від короткого замикання, перевантаження, зворотних струмів. Далі треба встановити обмежувач перенапруги (ОПН) для захисту обладнання від прямих і наведених імпульсів блискавки. І роз'єднувач-вимикач, щоб безпечно створити розрив ланцюга для вимкнення DC-контурів під час проведення ремонтних і сервісних робіт. Для сонячних станцій, що мають у своїй схемі акумуляторні батареї, необхідно встановити ножові запобіжники з утримувачами для захисту АКБ та інвертора від струмів короткого замикання, перевантаження і зворотних струмів.

Почну з ОПН. ОПН в даному випадку це вже гарно знайомий ПЗІП. А якщо точніше ПЗФЕС (пристрій захисту фотоелектричних систем). Спільного з ПЗІП змінного струму окрім призначення та параметрів - немає. Відмінностей насправді більше. Перша відмінність у тому, що конструктивно ПЗФЕС на стороні DC може бути лише обмежувача типу, тобто виконаний з використанням варисторів. Не дозволяється використовувати ПЗФЕС комутуючого типу з використанням розрядників. Електрична дуга, що виникає в розряднику при протіканні в ньому імпульсної напруги, не гасне після завершення імпульсу і підтримується джерелом,

					КП 3.6.141.141 ПЗ	Арк.
						102
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

так як немає моменту переходу напруги через нуль як в ланцюгах змінного струму. Друга відмінність в напрузі. Вибір конкретного типу ПЗФЕС залежить від максимально допустимої робочої напруги, що лежить в межах 200-800 В. Для розрахунку потрібно знати максимальну напругу СЕС, що виникає за холостого ходу системи. Однак напруга холостого ходу як і решта параметрів вимірювалась за температури навколишнього середовища +25 °С. Мінімальна температура, за якої напруга холостого найбільша, спостерігається в зимові місяці яка хоч і рідко проте може знижуватись до -20 °С [20].

Тому потрібно використати температурний коефіцієнт що разом з напругою холостого ходу наведений в табл. 4.2.1. Формули для розрахунку наведені нижче. Різниця температур між мінімальним та номінальним значенням знаходиться за формулою 4.2.7.

$$T_{\text{РІЗН}} = T_{\text{МІН}} - T_{\text{НОМ}} \quad (4.2.7)$$

де $T_{\text{МІН}}$ – мінімальна температура навколишнього середовища, що спостерігалась в місці встановлення сонячних модулів, °С;

$T_{\text{НОМ}}$ – стандартна температура для проведення дослідів, °С.

Збільшення значень напруги холостого ходу при $T_{\text{МІН}}$ в залежності від температурного коефіцієнта знаходиться за формулою 4.2.8.

$$k = T_{\text{РІЗН}} * k_{U_{\text{OC}}} \quad (4.2.8)$$

де $k_{U_{\text{OC}}}$ – температурний коефіцієнт з табл. 4.2.1, %/°С.

Таким чином максимально можливе значення холостого ходу знаходиться за формулою 4.2.9.

$$U_{\text{МАХ}} = k * U_{\text{OC}} \quad (4.2.9)$$

де U_{OC} – напруга холостого ходу з табл. 4.2.1, В.

Тоді максимально можлива напруга всієї СЕС знаходиться за формулою 4.2.10.

$$U_{\text{МАХ.СЕС}} = U_{\text{МАХ}} * N \quad (4.2.10)$$

де N – кількість модулів з'єднаних послідовно.

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
						103
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальна робоча напруга ПЗФЕС повинна задовольняти умові 4.2.11.

$$U_C \geq U_{MAX.CEC} \quad (4.2.11)$$

На практиці краще підбрати ПЗФЕС, у якого максимальна тривала робоча напруга перевищує максимально можливу напругу сонячної фотоелектричної батареї, розраховану цим методом.

Відповідно до формул наведених вище, різниця температур буде дорівнювати:

$$T_{P13H} = T_{MIN} - T_{НОМ} = -20 - 25 = -45 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Тоді напруга холостого ходу може збільшитися на:

$$k = T_{P13H} * k_{U_{OC}} = -45 * -0,26 = 11,7 \%$$

Максимально можлива напруга холостого ходу одного модуля буде дорівнювати:

$$U_{MAX} = k * U_{OC} = 1,17 * 53,7 = 62,8 \text{ В}$$

Тоді максимально можлива напруга всієї СЕС буде дорівнювати:

$$U_{MAX.CEC} = U_{MAX} * N = 62,8 * 16 = 1004,8 \text{ В}$$

Максимальна робоча напруга ПЗП повинна задовольняти умові:

$$U_C \geq U_{MAX.CEC} = U_C \geq 1004,8 \text{ В}$$

Тепер знаючи яку максимальну робочу напругу може мати ПЗФЕС можна переходити до вибору класу захисту та схеми підключення ПЗФЕС. ПЗФЕС III класу виконані за Y-схемою (рис. 4.2.7 а), завдяки чому забезпечують захист не тільки від синфазних (дріт-земля), а й від диференціальних перешкод (дріт-дріт), при цьому зменшується ймовірність перевантаження ПЗФЕС у разі пошкодження ізоляції сонячних батарей. Y-схема зберігає працездатність і запобігає витоку струму, якщо в одного з трьох варисторів (блоків варисторів) знизилася класифікаційна напруга.

ПЗФЕС II+III класу можуть виготовлятися як за V-схемою (рис. 4.2.7 б), забезпечуючи захист від синфазних перешкод (у ланцюзі дріт-земля), так і за Y-схемою (рис. 4.2.7 а) забезпечуючи захист не тільки від синфазних (дріт-земля), а й від диференціальних перешкод (дріт-дріт).

ПЗФЕС II класу, з максимальним розрядним струмом 40 кА, можуть виготовлятися як за V-схемою (рис. 4.2.7 б), забезпечуючи захист від синфазних перешкод (у колі

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		104

дріт-земля), так і за Y-схемою (рис. 4.2.7 а), забезпечуючи захист від синфазних (дріт-земля) і від диференціальних перешкод (дріт-дріт). ПЗФЕС II класу, з максимальним розрядним струмом 80 кА, виконані за V-схемою, забезпечують захист від синфазних перешкод (у ланцюзі дріт-земля), для формування Y-схеми використовуються послідовна збірка ПЗФЕС спільно з додатковими ПЗП ПЗФЕС -Д.

ПЗФЕС класу I+II виконані за V-схемою, забезпечують захист від синфазних перешкод (у ланцюзі дріт-земля).

ПЗФЕС-Д (додаткові) призначені для спільного використання з ПЗФЕС класу II, для виконання Y-схеми і підвищення робочої напруги в ланцюзі. Швидкість спрацьовування ПЗФЕС будь-якого типу не перевищує 25 нс.

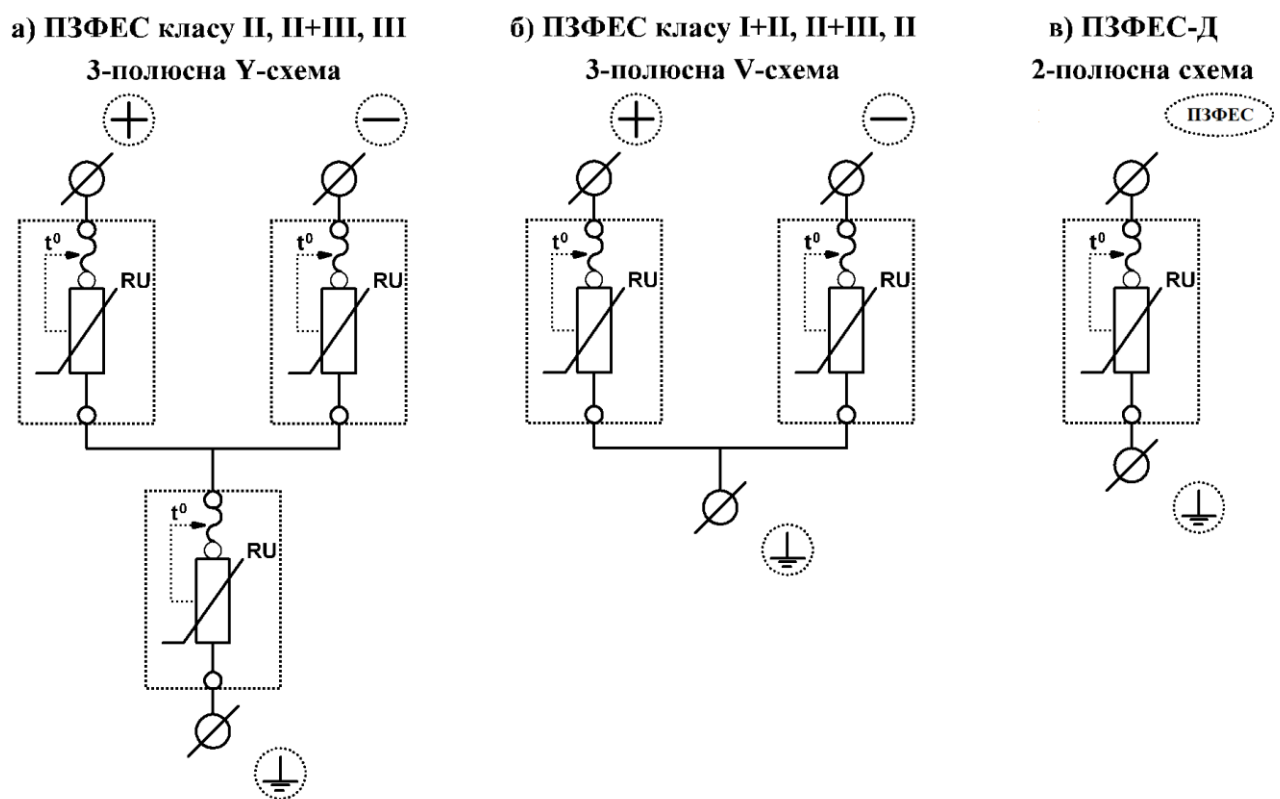


Рис. 4.2.7 – Електричні схеми підключення ПЗФЕС

Для вибору ПЗФЕС також потрібно визначитись з відстанню від сонячних панелей до щита DC та від щита DC до інвертора. В моєму випадку ці значення знаходяться в межах 10 м. Це важливо, адже залежно від того яка з цих відстаней більша

збільшиться кількість та параметри самого захищаючого приладу. Тому в моєму випадку для захисту сонячних панелей та інвертора достатньо встановити в щиті DC один пристрій II класу з максимальним розрядним струмом 40 кА та підключений за Y-схемою. Однак такий клас ПЗФЕС має номінальну робочу напругу не більше 800 В. В моєму випадку це значення виявилось більше 1000 В. Тому можна підключити ПЗФЕС-2 600/40V та додатково встановити ПЗФЕС-Д 600/40к. Тоді загальна схема підключення буде – Y, а робоча напруга за послідовного підключення збільшиться до 1200 В. Параметри цих двох приладів наведені в табл. 4.2.4.

Таблиця 4.2.4 – Характеристики ПЗФЕС-2 600/40V та ПЗФЕС-Д 600/40

Параметр	Значення	Одиниця виміру
Максим. тривала робоча напруга, U_C	600	В
Максим. розрядний струм, I_{MAX} (8/20 мкс)	40	кА
Номінальний розрядний струм, I_N (8/20 мкс)	20	кА
Рівень напруги захисту U_P за I_N	< 1,1	кВ
Напруга за струму витоку 1 мА, в ланцюзі L(+)-PE, L(-)-PE	750±10%	В
Рекомендований переріз жил для підключення не менше	25	мм ²
Номінальний струм запобіжника gG, А	80	А

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
						106
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно до вимог електро- та пожежобезпеки перед ПЗФЕС з боку сонячної батареї має бути встановлений пристрій захисту від надструму. У разі ПЗФЕС-3 це може бути як автоматичний вимикач, так і плавкий запобіжник. Для ПЗФЕС класів II і I+II - тільки плавкий запобіжник. Ці запобіжники можуть бути встановлені як у ланцюзі батареї, так і в ланцюзі підключення ПЗФЕС. Запобіжники в ланцюзі підключення ПЗФЕС встановлюються у двох випадках:

- якщо запобіжники (або автоматичні вимикачі для ПЗФЕС-3) не встановлено в ланцюзі батареї перед ПЗФЕС;
- якщо номінальний струм запобіжника в ланцюзі батареї більший, ніж номінальний струм, зазначений у таблиці 4.1.5.

В моєму випадку рекомендований максимальний номінал запобіжника, відповідно до технічних вимог сонячної панелі наведених в табл. 4.2.1, не має перевищувати 25 А. Для ПЗФЕС згідно табл. 4.2.4 номінал запобіжника має бути не менше 80 А. Тому найкращим рішенням буде встановлення двох запобіжників 25 А gG в коло L(+) та L(-) сонячної панелі [21].

Останнім елементом захисту на стороні DC є роз'єднувач. В даному випадку він двополюсний (1p+1) з номінальним струмом на 25 А та номінальною напругою 1000 В. Цього цілком достатньо для відключення сонячних модулів для проведення ремонтних робіт тощо. Функціональна схема захисту обладнання СЕС буде наведена після вибору АКБ.

					КП 3.6.141.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		107

Лічильник

Для даної гібридної СЕС потрібен спеціальний лічильник з функцією SmartMeter – дозволяє обмежувати генерацію відповідно до власного споживання, надмірна енергія не передаватиметься в мережу. З цією задачею гарно впорається лічильник від Huawei. Розумний лічильник Huawei DTSU666-H 250A/50mA – трифазний багатофункціональний пристрій, що застосовується для вимірювання характеристик у мережі низької напруги. Є важливим компонентом вузла обліку домашніх та комерційних сонячних електростанцій та інших об'єктів альтернативної енергетики. Використання цього приладу є актуальним за наявності як власного споживання, так і генерації у зовнішню мережу. Даний лічильник окрім функції SmartMeter має свої особливості:

- вбудований запобіжник та термістор захищають від струмів КЗ;
- бездротова передача даних в режимі реального часу через RS-485;
- розумний моніторинг основних електричних величин (струм, напруга, потужність тощо).

Таблиця 4.2.6 – Основні характеристики розумного лічильника Huawei DTSU666-H

Параметр	Значення	Одиниця виміру
Діапазон робочої напруги	від 176 до 288	В
Діапазон вхідного струму	від 0 до 250	А
Точність вимірювання напруги	$\pm 0,5$	%
Точність вимірювання струму та потужності	± 1	%
Точність вимірювання частоти	$\pm 0,01$	Гц
Діапазон робочої температури	від -40 до +70	°C

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		108

Вибір типу та параметрів АКБ

Акумулятори мають вирішальне значення, щоб використовувати систему в робочому стані в будь-який час доби. До питання "який акумулятор вибрати для сонячних батарей" треба підійти гранично серйозно. З неправильно підібраним банком акумуляторів, є імовірність що вони можуть бути не здатні видати необхідну потужність. За відсутності хороших акумуляторних батарей доведеться боротися з нестачею енергії, особливо якщо в мережі електропостачання є перебої або вона просто відсутня. Свинцево - кислотні, зокрема AGM і GEL, і літієві акумулятори, що набирають популярності, на сьогодні найбільш затребувані для електропостачання, знайдемо їхні відмінності та визначимо переваги або недоліки.

Почну зі свинцево-кислотних. Свинцево-кислотні акумулятори бувають двох видів з рідким та «густим» електролітом. Відмінною особливістю перших батарей є те, що свинцеві пластини занурені в рідкий електроліт. Їх необхідно регулярно перевіряти і доливати кожні 1-3 місяці, щоб вони працювали належним чином. Недбале ставлення до обслуговування може скоротити їхній термін служби і анулювати гарантію. Оскільки під час експлуатації цей тип АКБ може виділяти небезпечні гази, їх необхідно встановлювати у вентильованому приміщенні, щоб дозволити газам батареї виходити назовні. Батареї с густим електролітом ще називають герметизованими. Герметизовані у свою чергу також бувають двох типів: акумулятори AGM і GEL (гелеві), які мають багато схожих властивостей. Вони практично не потребують обслуговування і вологозахищені. Відмінності полягають в електроліті - в гелевому акумуляторі він перебуває в загущеному стані, а в AGM електроліт абсорбований у скловолокні. Вважається, що вони не виділяють гази, це не зовсім так, оскільки для захисту акумуляторів передбачено клапани, які можуть відкриватися в екстрених ситуаціях.

Що до літієвих акумуляторів то одним з найкращих хімічних складів літієвих акумуляторів для сонячних батарей є літій-залізо-фосфат LiFePO_4 , він же LFP, ще зустрічається назва "Ліфер". Ця технологія має в кілька разів більший термін служби, ніж у свинцевих АКБ, і може використовуватися при більш глибоких

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
						109
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

циклах. Завдяки лінійним розрядним характеристикам можна використовувати меншу ємність, при розряді великими струмами. Вони також не потребують обслуговування або вентиляції, на відміну від заливних свинцево-кислотних батарей. LiFePO₄ це один із різновидів літій-іонних батарей, але на відміну від них LiFePO₄ пожежо-вибухобезпечні. Інша більш новіша технологія має хімічний склад на основі літій-титаната або ж LTO. Можна впевнено сказати, що це чудові акумулятори та одні з найкращих на цей момент, і вони мають всі перераховані вище плюси LiFePO₄ акумуляторів, а й ще можуть заряджатися просто величезними струмами в 10С (для порівняння "свинець" можна заряджати струмами 0,1 - 0,2С) і мають ресурс 16000 циклів. З мінусів можна відзначити високу ціну і більшу вагу порівняно з LiFePO₄. Звичайні літій-іонні акумулятори мають дуже високу щільність енергії і малу вагу, завдяки чому широко застосовуються на електротранспорті, зокрема в Теслі, але мають суттєвий недолік - у разі пошкоджень і під час роботи в позаштатному режимі можуть спалахувати. У LiFePO₄ і Літій-титанатних акумуляторів відсутній цей недолік, тому вони кращі для використання в автономних і безперебійних системах.

Тому порівнюючи кислотні та літієві акумулятори можна виділити основні переваги літієвих LFP і LTO акумуляторів над свинцево-кислотними:

- термін служби в кілька разів більший, ніж у свинцевих АКБ;
- кількість циклів при глибині розряду 80% становить 2000-3500 у LFP і до 16000 у LTO, проти 300-350 циклів у звичайного "свинцю";
- швидкий заряд, завдяки здатності приймати великі струми заряду (зарядний струм до 2С (у LFP) і до 10С (у LTO), проти 0,1-0,3С у свинцевих;
- лінійні розрядні характеристики дають змогу використовувати в 2-3 рази меншу ємність, в порівнянні зі "свинцем", і отримувати паспортну ємність незалежно від розрядного струму;
- менша вага, висока щільність енергії;
- не виділяють шкідливих речовин і пожежо-вибухобезпечні.

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		110

З мінусів літєвих АКБ можна відзначити, що їх не можна використовувати без системи балансування і захисту BMS (Battery Management System) і більш високі початкові вкладення [22].

Враховуючи все вище написане ідеальним варіантом було б обрати літій-титанатні (LTO) акумулятори. Зважаючи на їх величезний ресурс циклів заряду-розряду. Проте їх набагато важче знайти. Тому будуть обрані літій-залізо-фосфатні (LiFePO4) акумулятори.

Окремі акумулятори мають напругу від 12 до 96 В. Однак обраний інвертор працює в діапазоні від 40 до 60 В. Тому найкращим варіантом є встановлення АКБ на 48 В. Розрахункове значення струму АКБ знаходиться за формулою:

$$I_{\text{РОЗ}} = \frac{P_{\text{ДОБ}}}{U_{\text{НОМ}}} \quad (4.2.12)$$

де $P_{\text{ДОБ}}$ – середньодобова потужність навантаження, Вт;

$U_{\text{НОМ}}$ – номінальна робоча напруга АКБ, В.

Враховуючи те, що АКБ бажано розряджати не більше 20-30% то підставляючи значення в формулу 4.2.12 отримуємо:

$$I_{\text{РОЗ}} = \frac{P_{\text{ДОБ}}}{U_{\text{НОМ}}} = \frac{25900}{48} * 1,2 = 647,5 \text{ А} * \text{год}$$

Найближчий варіант до встановлення це акумулятор на 100 А*год та напругою 48 В. Для досягнення потрібної ємності 700 А*год (з запасом), потрібно 7 акумуляторів з'єднати паралельно. За паралельного з'єднання напруга залишається незмінною, а струм і ємність збільшуються. Технічні характеристики та схема підключення АКБ наведені в табл. 4.2.5 та на рис. 4.2.8 відповідно.

Таблиця 4.2.5 – Характеристики CHALLENGER LiFePO4 48-100

Параметр	Значення	Одиниця виміру
Номінальна напруга	51,2	В
Мінімальна напруга	40	В
Максимальна напруга	58,4	В

Продовження таблиці 4.2.5

Стандартний струм заряду	25	А
Максимальний струм заряду	100	А
Максимальний струм розряду	100/30	А/с
Кількість циклів заряду-розряду	>2000	-
Температура при заряджанні	від 0 до +45	°C
Температура при розряджанні	від -20 до +60	°C

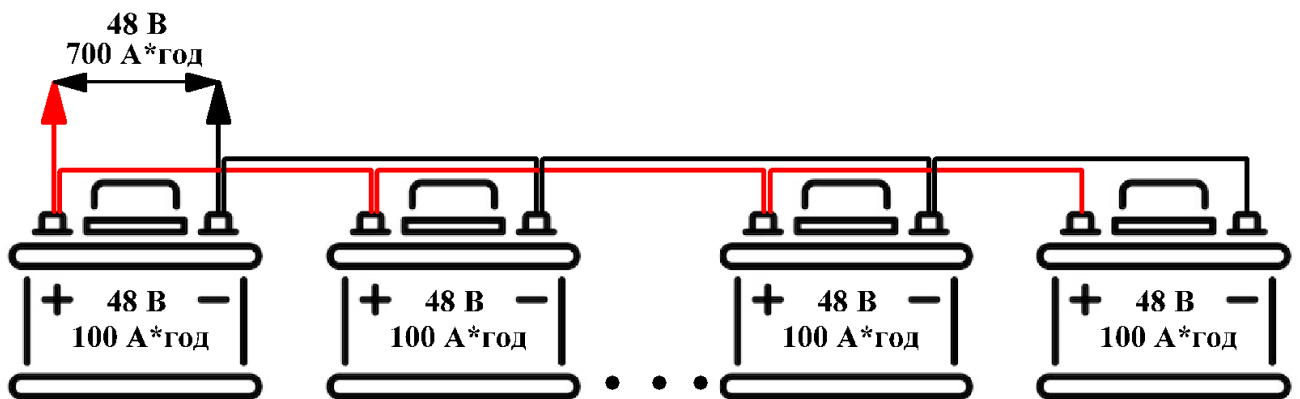


Рис. 4.2.8 – Схема підключення акумуляторних батарей

Для підключення АКБ між собою потрібно вибрати переріз кабелю. Для цього підійдуть формули 4.2.4 - 4.2.6. Тоді відповідно до цих формул температурний коефіцієнт за максимальної температури при розряджанні +60 °C буде дорівнювати:

$$C_{\theta} = 1 + 0,004 * (\theta - 20) = 1 + 0,004 * (60 - 20) = 1,16$$

Активна питома провідність з врахуванням температурного коефіцієнта та коефіцієнта скручування дорівнює:

$$\gamma_{\theta} = \frac{1}{\rho_{\theta}} * C_{\theta} * C_c = \frac{1}{0,0175} * 1,16 * 1,02 = 67,61 \frac{\text{м}}{\text{Ом} * \text{мм}^2}$$

Величина втрат напруги не повинна перевищувати 2%. Довжина підключення кабелю близько 2 м. За номінальну напругу взято напругу одного акумулятора 48 В. Тоді необхідний переріз кабелю має дорівнювати:

$$s = \frac{200 * P_M * L_M}{\gamma_{\theta} * U_{\text{НОМ}}^2 * U\%} = \frac{200 * 10 * 0,002 * 2}{67,61 * 0,048^2 * 2} = 25,6 = 25 \text{ мм}^2$$

Максимальний струм заряду-розряду АКБ згідно табл. 4.2.5 сягає 100 А. Згідно ПУЕ п.1.3.17 та табл. 1.3.11 - допустимий тривалий струм кабелів з мідними жилами та ізоляцією з полівінілхлоридного пластикату і полімерних композицій, що не містять галогенів для напруги від 660 В до 3 кВ DC-AC, приблизний струм який здатний витримати кабель перерізом 25 мм² – 153 А. Однак за паралельного підключення струм з акумуляторів додається. Інвертор максимально може пропустити через себе 275 А згідно табл. 4.2.2. Тому даний переріз не підходить. Його потрібно збільшити до 70 мм² з максимально допустимим тривалим струмом – 286 А. Для захисту інвертора на стороні АКБ від можливих надструмів бажано встановлення двох запобіжників 280 А gG в коло L(+) та L(-) що йдуть від АКБ. Функціональна схема захисту обладнання СЕС з підключеними АКБ на стороні DC наведена на рис. 4.2.9. Після встановлення та підключення гібридної СЕС та АКБ однолінійна схема електропостачання домогосподарства, що вже була наведена в підрозділі 3.3 на рис. 3.3.2, матиме вигляд як на рис. 4.2.10. Схематичні позначення що не використовувались раніше, проте зображені на рис. 4.2.9 та 4.2.10 наведені в табл. 4.2.6.

					КП 3.6.141.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		113

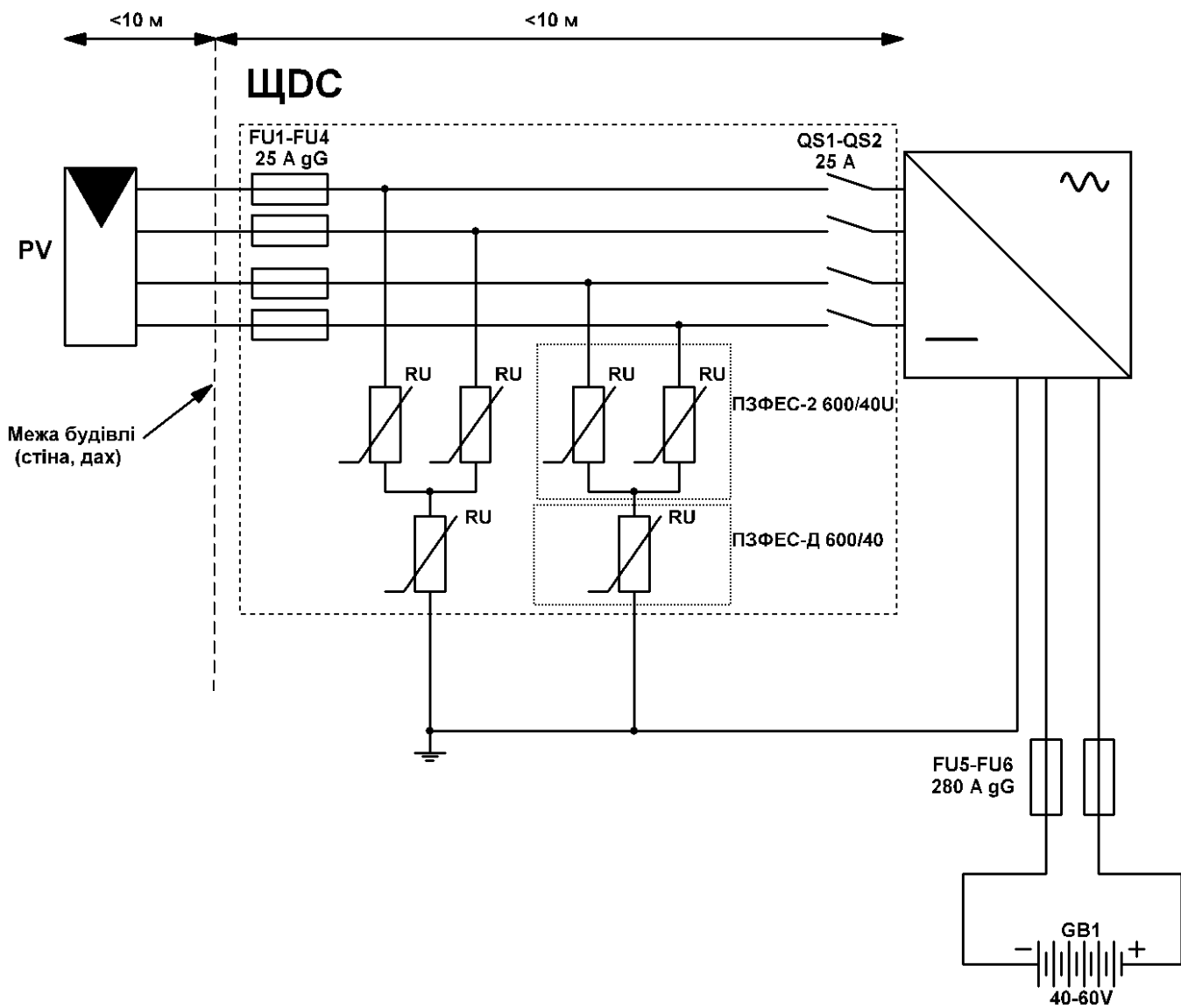


Рис. 4.2.9 – Функціональна схема захисту обладнання СЕС на стороні DC

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КП 3.6.14.1.141 ПЗ

Арк.

114

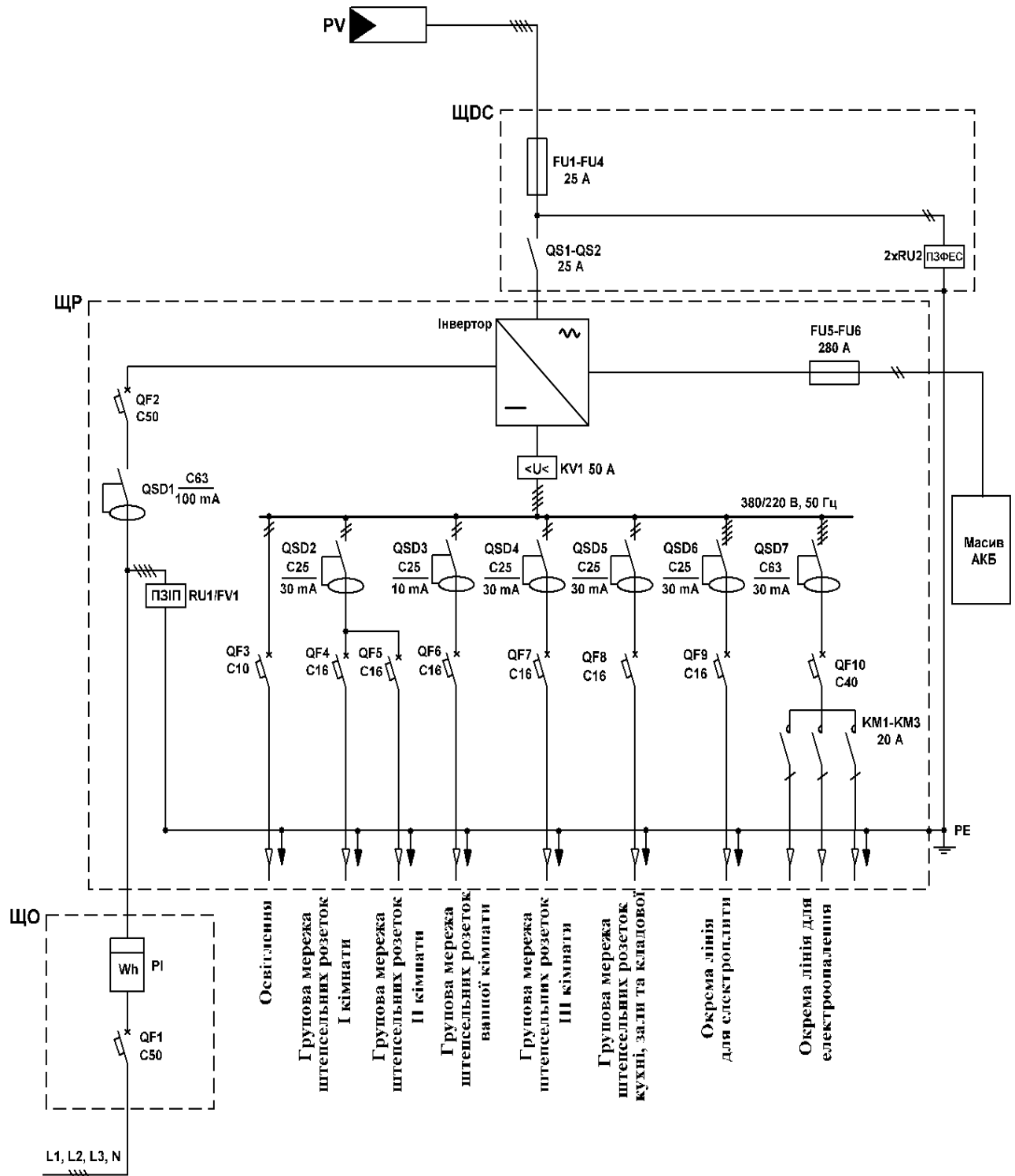





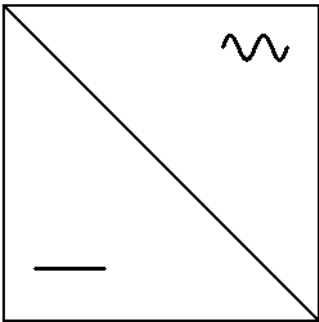


Рис. 4.2.10 - Остаточна принципова електрична схема підключення внутрішньої електромережі з трифазним вводом з підключеною гібридною СЕС та встановленими АКБ та інвертором

Таблиця 2.4.6 – Схематичні позначення, що зображені на рисунку 4.2.9-4.2.10

Схематичне позначення	Буквенне позначення	Позначення
	FU ₁ -FU ₆	Плавкий запобіжник
	2*RU ₂	Пристрій захисту фотоелектричних систем 2 шт на кожний + та – сонячної панелі
	QS ₁ -QS ₂	Двополюсний роз'єднувач
	PV	Масив фотомодулів
	GB ₁	АКБ
	-	Інвертор

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КП 3.6.14.1.141 ПЗ

Арк.

116

4.3 Визначення терміну окупності СЕС

Для визначення окупності СЕС потрібно визначити загальні витрати. Загальні витрати в свою чергу складаються з капітальних та поточних. Капітальні витрати – це одноразові витрати які включають в себе вартість сонячної електростанції, транспортування обладнання, приєднання до мережі енергосистеми тощо. Загальні капіталовкладення розраховуються за формулою 4.3.1:

$$K = K_{уст} + K_{пр} + K_{вст} + K_{обл} \quad (4.3.1)$$

де $K_{уст}$ – вартість сонячної установки, грн;

$K_{пр}$ – вартість проектних робіт по визначенню місяці для встановлення сонячних установок, оформлення документації, грн;

$K_{вст}$ – вартість будівельних та монтажних робіт при встановленні сонячних установок, підключення їх до електричної мережі, грн;

$K_{обл}$ – вартість додаткового обладнання, грн.

Вартість сонячної установки складається з вартості сонячних панелей, інвертора, акумуляторних батарей, лічильника. Ціни на це обладнання були взяті з інтернет магазинів України. Вартість додаткового обладнання зазвичай не висока в порівнянні з вартістю всієї сонячної установки. Складається вона з вартості запобіжників, пристроїв захисту (ПЗФЕС та роз'єднувачі), кабелів для підключення, щитів захисту тощо. Враховувалась лише вартість обладнання на стороні DC. Сторона AC, вартість грозозахисту та контуру заземлення не враховувалась. Тільки сонячні панелі та все необхідне для її правильної роботи. Тому вартість додаткового обладнання я взяв приблизно 5% від вартості сонячної установки. Дані наведені в табл. 4.3.1.

Вартість будівельних та монтажних робіт можна розглянути на прикладі окремого постачальника послуг [23]. Даний постачальник установлює та підключає інвертор та інше відповідне обладнання від 120 \$, вартість кріплення однієї сонячної панелі на дах від 25 \$/шт тобто $25 \cdot 32 = 800$ \$, в загальному випадку доведеться заплатити 920 \$ або за сьогоднішнім курсом $920 \cdot 37,5 = 34\,500$ грн.

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		117

Таблиця 4.3.1 – Розрахунок вартості сонячної установки враховуючи вартість додаткового обладнання.

Обладнання	Кількість од.	Ціна за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
Сонячна панель CS3Y-500MB-AG	32	6017,49	192 559,68
Інвертор LPW- HMG104815	1	143 641	143 641
Лічильник Huawei DTSU666-H 250A/50mA	1	7733	7733
Акумуляторна батарея CHALLENGER LiFePO4 48-100	7	80 064	560 448
Додаткове обладнання	-	-	45 219,08
Разом $K_{уст}$, грн	-	-	949 600,76

Тоді загальні капіталовкладення відповідно до формули 4.3.1 будуть дорівнювати:

$$K = K_{уст} + K_{пр} + K_{вст} + K_{обл} = 949\,600,76 + 34\,500 = 984\,100,76 \text{ грн}$$

Вартість проектування та вартість підключення не враховувались так як перше було вже зроблено, а друге СЕС буде використовуватись для власного користування, а не для продажу.

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
						118
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поточними називають короткочасні витрати у даний звітний період. Вони йдуть на технічне обслуговування, ремонт, амортизаційні відрахування, заробітну плату обслуговуючому персоналу тощо. Обслуговуючого персоналу ніякого не буде, то при розрахунку витрати на їх зарплату враховувати не потрібно. Для розрахунку річних експлуатаційних витрат потрібно скористатися формулою 4.3.2.

$$B = B_{AM} + B_{ЗП} \quad (4.3.2)$$

де B_{AM} – амортизаційні витрати, грн;

$B_{ЗП}$ – витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу, грн.

Амортизаційні витрати прийнято вважати рівними 1% від вартості всієї установки ($K = 984\,100,76$ грн), тоді B_{AM} та B будуть дорівнювати $K * 1\% = 9841$ грн. Це річна сума необхідна для підтримання установки в робочому стані.

Розрахунок зведених річних витрат за кВт встановленої потужності знаходиться за формулою 4.3.3.

$$З = \frac{P_H * K + B}{P} \quad (4.3.2)$$

де K – загальні капіталовкладення, грн;

B – річні експлуатаційні витрати, грн;

P – встановлена потужність об'єкта (15 кВт дає безкоштовно НКРЕКП та 10 кВт додатково потрібно приєднати за тарифом 0,897 грн/кВт +20% ПДВ), кВт;

P_H – нормативний коефіцієнт рентабельності, що розраховується за формулою 4.3.3.

$$P_H = \frac{1}{T} \quad (4.3.3)$$

де T – економічний термін експлуатації обладнання, років.

Виробник вибраних сонячних панелей для СЕС дає гарантію на своє обладнання 30 років, тоді нормальний коефіцієнт рентабельності буде дорівнювати 0,033.

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
						119
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді зведені річні витрати відповідно до формули 4.3.2 будуть дорівнювати:

$$З = \frac{P_H * K + B}{P} = \frac{0,033 * 984\ 100,76 + 9841}{25} = 1692,65 \text{ грн}$$

Для визначення ефективності роботи потрібно знайти коефіцієнт використання встановленої потужності за формулою 4.3.4.

$$K_{\text{ВВП}} = \frac{P_{\text{Д}}}{P_{\text{ПЛ}}} \quad (4.3.4)$$

де $P_{\text{Д}}$ – дійсний обсяг виробленої електроенергії за даний період часу, кВт*год;
 $P_{\text{ПЛ}}$ – плановий обсяг виробленої електроенергії за весь період експлуатації, кВт*год.

Дійсний обсяг виробленої електроенергії залежить від щорічних втрат самих фотомодулів. Виробник заявляє, що за перший рік падіння потужності складає не більше 2 %, далі 0,45 % кожен рік. Дійсну генерацію протягом 30 років роботи з врахуванням втрат потужності в панелі мені допомогла знайти вже знайома програма System Advisor Model (SAM). Відповідно до отриманих даних дійсний обсяг виробленої електроенергії за 30 років буде дорівнювати 367 776,6 кВт*год. Дані будуть зображені у вигляді графіка на рис. 4.3.1.

Плановий обсяг виробленої електроенергії втрати в самому фотомодулі не враховує, він знаходиться як добуток максимальної потужності панелі на їх кількість за весь термін експлуатації за формулою 4.3.5.

$$P_{\text{ПЛ}} = P * N * T \quad (4.3.5)$$

де P – потужність однієї сонячної панелі, Вт;

N – кількість сонячних панелей;

T – термін експлуатації, років.

Тоді згідно формули плановий обсяг електроенергії буде дорівнювати:

$$P_{\text{ПЛ}} = P * N * T = 500 * 32 * 30 = 480\ 000 \text{ кВт * год}$$

Коефіцієнт використання дорівнює:

$$K_{\text{ВВП}} = \frac{P_{\text{Д}}}{P_{\text{ПЛ}}} = \frac{367\ 776,6}{480\ 000} = 0,77$$

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		120

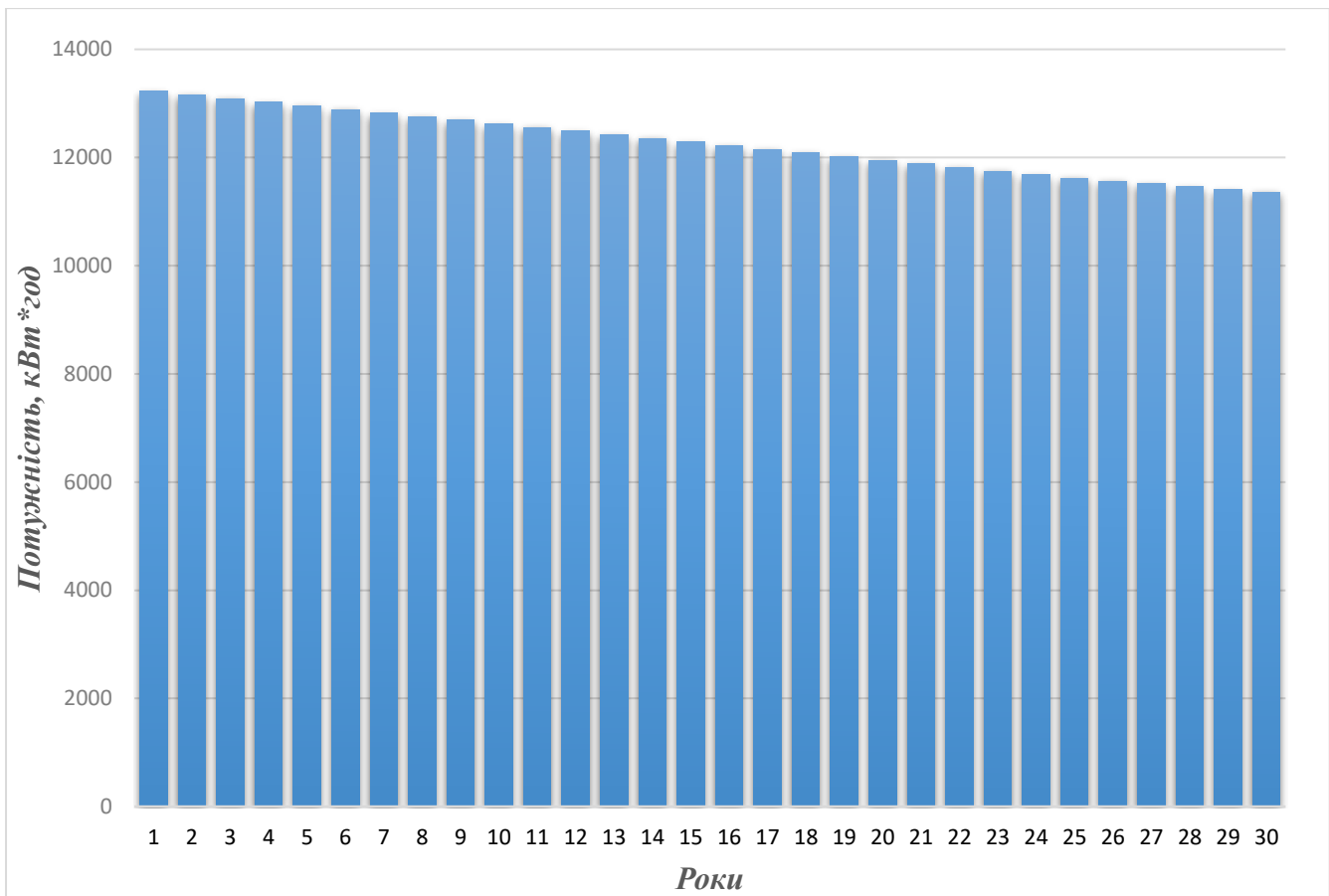


Рис. 4.3.1 – Дійсна генерація СЕС протягом тридцяти років

Для визначення терміну окупності гібридної СЕС потрібно використати формулу 4.3.6.

$$T_{\text{ок}} = \frac{K + B}{E} \quad (4.3.6)$$

де К – загальні капіталовкладення, грн;

В – річні експлуатаційні витрати, грн;

Е – економія за рік, грн.

Економія за рік визначається як добуток кількості електроенергії, що довелося би купити без встановлення СЕС за рис. 4.2.4 на тариф за якого купується електроенергія (на цей час ще 1,68 грн/кВт якщо більше 250 кВт, хоча цей тариф планували підвищити з травня місяця 2023 року). За рік вийшло зекономити 5083,86 кВт*год електроенергії. Це приблизно $5083,86 * 1,68 = 8540,88$ грн. Річні витрати на утримання такої СЕС більші за економію електроенергії. Підставляючи відомі дані в формулу 4.3.6 отримуємо:

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		121

$$T_{\text{ок}} = \frac{K + B}{E} = \frac{984\,100,76 + 9841}{8540,88} = 116,4 \text{ роки}$$

Річні експлуатаційні витрати, я вважаю, це не постійна величина, тож якась економія та буде, проте зважаючи на термін експлуатації електроустановки в 30 років, ця електроустановка не окупиться ніколи. Тож встановлення такої СЕС з економічної точки зору повністю не вигідно.

Якщо б залишки електроенергії, котрі просто «згорають» в літні місяці за інтенсивного генерування можна було б продавати за «зеленим» тарифом то формула для окупності СЕС мала би наступний вигляд:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{D - B + E} \quad (4.3.6)$$

де К – загальні капіталовкладення, грн;

D – річний дохід від СЕС, грн;

B – річні експлуатаційні витрати, грн;

E – економія за рік, грн.

Загальна кількість проданої електроенергії могла б скласти 10787,5 кВт за ціною 6,6 грн/ кВт. Тоді термін окупності скоротився би до:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{D - B + E} = \frac{984\,100,76}{10\,787,5 * 6,6 - 9841 + 8540,88} = 14 \text{ років}$$

Це вже набагато краще в порівнянні з попереднім результатом. Враховуючи те, що основною метою даної СЕС було забезпечення певної автономності за відключення світла, то що в першому, що в другому випадку дана СЕС (за встановлених АКБ) свою задачу виконає. Починаючи з середини квітня і закінчуючи серединою жовтня можна взагалі забути про центральну мережу електропостачання. Решту днів за економічного споживання лише на базові потреби автономності вистачить на 1-3 дні. Що цілком достатньо враховуючи мій опит зимування цього року. За потреби можна докупити дизельний генератор та заряджати АКБ в разі чого від нього. Щодо СЕС в цілому то її в будь-який момент можна використовувати за зеленим тарифом, це залежить від того які пріоритети ставить перед собою власник.

					КП 3.6.141.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		122

ВИСНОВОК

Першим важливим питанням виконання бакалаврської роботи було проєктування електропроводки в приватному будинку з «нуля». На цьому етапі було розглянуто такі питання: вибір кабелю відповідно до необхідної потужності; підбір апаратів захисту; розміщення розеток, вимикачів світильників тощо. Результати роботи показали, що це доволі складне і відповідальне завдання, що вимагає ретельного підходу до кожного етапу роботи проєкту з дотриманням усіх правил як безпекових, так і будівельних. Головним в цьому етапі було поєднання безпеки мешканців оселі і економії наскільки це можливо. Також даний етап показує, як має виглядати правильна електропроводка в будинку на сьогодні. Зазвичай у багатьох, і у мене у том числі на жаль, на вході в будинок стоїть єдиний автоматичний вимикач. Це було правильно 30 років тому коли з електронних приладів в будинку в кращому випадку був телевізор, холодильник та декілька світильників. Сьогодні побутові прилади дуже потужні і їх стає дедалі більше, й використовувати їх за старої електропроводки, яка не була розрахована на дану потужність, неправильно. Це призводить до враження струмом людини через пробій ізоляції або пожегів. Тому питання заміни старої електропроводки на нову має стати пріоритетним. Також для тих в кого електропроводка нова й він вважає, що не варто перейматися цим питанням, при цьому має так само лише декілька автоматів захисту, варто замислитись: наскільки це правильно, а найголовніше безпечно? Адже нова електропроводка це не гарантія безпеки. Гарантією може стати наявність ПЗВ і то варто пам'ятати, що це пристрій який може не спрацювати. Так, ПЗВ і його монтування доволі коштовне, особливо коли пріоритетом стоїть економія, він може знадобитися, а може й ні. Проте якщо він знадобиться лише раз це вже буде виправдано, адже від цього може залежати життя.

Другим не менш важливим питанням було розроблення комплексної системи, що включає в себе заземлення та грозозахист. При цьому були розглянуті питання вибору типу грозозахисту, способу його виконання, розрахунку опору заземлюючого контуру та підбору матеріалів. Цей етап не дуже розповсюджений на

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		123

сьогодні якщо мова йде про приватні домогосподарства. Лише інколи люди встановлюють на дахи грозозахист або обирають контур заземлення (переходячи з системи TN-C на TN-C-S замість TT). Це більше актуально коли мова йде про заміські дво- і більше поверхові котеджі, або коли є певні безпекові питання котрі не можна вирішити іншим шляхом й люди встановлюють контур заземлення. І то з розвитком електромережі цих питань з кожним днем стає менше. На сьогодні це більше актуально для підприємств або якихось складів чи підстанцій. В моєму випадку це більше було розглянуто як можливість, що так робити можна. Для одноповерхового будинку розташованого неподалік великого обласного міста що перше, що друге, я вважаю, на сьогодні не актуальне. Проте мати досвід, хоч і теоретичний, не завадить.

І останнім третім питанням було розглядання можливості встановлення автономної СЕС власних потреб. На цьому етапі було розраховано необхідну кількість сонячних панелей враховуючи розташування земельної ділянки та потужність домогосподарства, були вибрані інвертор та АКБ, і обґрунтована економічна доцільність такої СЕС. Так як в країні зараз війна, то автономна СЕС в цілому має право на існування. Якщо головною метою стоїть забезпечення електроенергією або використання як резервного джерела взимку, що дасть автономність на декілька днів, а не економічна доцільність. Однак як можна було очікувати в літні пори року електроенергії забагато, в зимові – замало. Тож повністю перекрити власні потреби за рік не вийде. Принаймні в комфортному варіанті. В цих широтах взимку майже немає генерації. Тому краще розташовувати СЕС власних потреб в більш південних широтах, де генерація в цілому більша або якось економити на споживанні електроенергії взимку тощо. За мирного життя кращим варіантом для встановлення буде мережева СЕС, згенеровану електроенергію можна продавати за «зеленим» тарифом, а для себе отримувати від розподільчої мережі. Тоді СЕС має хоч якийсь економічний сенс.

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		124

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х: Видавництво "Форт", 2017. – 617 с.
2. Договірна потужність: споживачі мають право на 5 кВт [Електронний ресурс] // УКРАЇНСЬКА ENERGETИКА. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://ua-energy.org/uk/posts/dohovirna-potuzhnist-i-prava-spozhyvachiv>.
3. Карта ґрунтів України [Електронний ресурс] // SuperAgronom.com. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://superagronom.com/karty/karta-gruntiv-ukrainy#x>.
4. Класифікація будівель і споруд щодо улаштування блискавкозахисту. Визначення необхідності їх захисту від блискавки [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://cpo.stu.cn.ua/Oksana/rozrah_rozd_OP_DP_bak_spec_mag/140.html.
5. Моделювання історичних даних про клімат та погоду для Суми [Електронний ресурс] // meteoblue. – 2006. – Режим доступу до ресурсу: https://www.meteoblue.com/ru/%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B0/historyclimate/climatemodelled/%d0%a1%d1%83%d0%bc%d1%8b_%d0%a3%d0%ba%d1%80%d0%b0%d0%b8%d0%bd%d0%b0_692194.
6. Solar resource maps of Ukraine [Електронний ресурс] // SOLARGIS. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/ukraine>.
7. Бельский О. Вибір кабелю та проводу. [Електронний ресурс] / Олександр Бельский. – 1984. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.tecorp-group.com.ua/wp-content/uploads/2016/08/%D0%92%D1%8B%D0%B1%D0%BE%D1%80-%D0%BA%D0%B0%D0%B1%D0%B5%D0%BB%D1%8F-%D0%B8-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%B0.pdf>

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		125

8. ПУЕ-7 п.2.1.52-2.1.65 відкрита електропроводка в середні приміщення [Електронний ресурс] // Світло та електрика. Все про електрику: системи та пристрої – Режим доступу до ресурсу: <https://svet202.ru/ustanovka/pue-elektroprovodka.html>.
9. Типи, характеристика, будова автоматичних вимикачів [Електронний ресурс] // electricaShop. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: https://electrica-shop.com.ua/articles/84.tipi_i_harakteristiki_avtomaticheskikh_viklyuchateley.
10. УЛАШТУВАННЯ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД. // Мінрегіонбуд України. – 2008. – С. 45.
11. Ступінь вогнестійкості будівель та споруд [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://studentbooks.com.ua/content/view/1344/76/1/6/>.
12. Який мінімальний кут нахилу даху для металочерепиці [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://prostroymaterialy.com/kakoy-minimalnyy-ugol-naklona-kryshi-dlya-metallocherepicy/>.
13. ПЗІП - пристрій захисту від імпульсних перенапруг [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://electroinfo.net/raznoe/uzip-ustrojstvo-zashhity-ot-impulsnyh-perenaprjazhenij-ustrojstva-zashhity-ot-impulsnyh-perenaprjazhenij-uzip.html>.
14. Захист від перенапруг та перешкод, що утворені блискавкою [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://www.streamer.ru/upload/iblock/256/9rqwlr1k14i9uu04p6lv7izl42whd109/%D0%9A%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3%20%D0%A3%D0%97%D0%98%D0%9F_2022-mini.pdf.

					КП 3.6.14.1.141 ПЗ	Арк.
						126
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

15. Розрахунок захисного заземлення [Електронний ресурс]. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: <https://electricvdome.ru/zazemlenie/raschet-zazemlenia.html>.
16. Приватна сонячна електростанція: наскільки це вигідно? [Електронний ресурс] // Дмитро Науменко. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://tyzhden-ua.translate.google.com/translate?hl=uk&sl=uk&tl=ru&hl=ru&pt=sc>.
17. Ефективність сонячних модулів у 2022 році [Електронний ресурс] // AVENSTON. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://avenston.com/articles/solar-panels-2022/>.
18. System Advisor Model [Електронний ресурс] // NREL – Режим доступу до ресурсу: <https://sam.nrel.gov/>.
19. Вибір перерізу кабелю для сонячних панелей [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://electrotorg.biz.ua/blog/elektromontazh/vybor-secheniya-kabelya-dlya-solnechnykh-paneley>.
20. Клімат міста Суми [Електронний ресурс] // МЕТЕОПОСТ – Режим доступу до ресурсу: <https://meteopost.com/weather/climate-normals/sumy/>.
21. Пристрої захисту фотоелектричних систем Комменж ПЗФЕС. Технічний опис. [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.commeng.ru/catalog/to/uzfes-to.pdf>.
22. Які акумулятори кращі? Актуальна інформація на 2021 рік [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://mywatt.ru/poleznaya-informaciya/kakie-akkumulyatory-luchshe-dlya-solnechnykh-batarej>.
23. Вартість встановлення (монтажу) сонячних електростанцій (панелей) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://avtonomnoeotoplenie.dp.ua/skol-ko-stoit-montazh-elektrostantsij.html>.

					КП 3.6.141.141 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		127