

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

Управління енергетичними та економічними процесами  
(назва факультету)

Інтелектуальні системи енергопостачання  
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка  
до кваліфікаційної роботи  
бакалавра  
(ступінь вищої освіти)

на тему: Розрахунок системи електропостачання для частини енергетичної системи між підстанціями 35кВ. Побутові накопичувачі електричної енергії.  
за освітньою програмою Електротехнічні системи електроспоживання  
зі спеціальності: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи ЕС2111:



(підпис студента)

/ Владислав БОГАЧЕНКО /  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:



(підпис)

/ зав. каф. Дмитро БОСІЙ /  
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер:



(підпис)

/ доцент Ірина ПОТАПЧУК /  
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент



(підпис)

Дніпро – 2025 рік

**Ministry of Education and Science of Ukraine**  
**Ukrainian State University of Science and Technologies**

**Energy and economic processes management**  
(faculty)

---

**Intellectual power supply systems**  
(department)

---

**Explanatory Note**  
**to Master's Thesis**  
**of Bachelor**  
(higher education degree)

---

on the topic: Calculation of the power supply system for a part of the power system between 35kV substations. Household energy storage devices.

in the Speciality: 141 Electric power, electrical engineering and electromechanics  
(speciality and its code )

Done by the student of the group EC2111: / Vladislav Bogachenko /  
(name, surname)

Scientific Supervisor: / Head of Department, Dmytro Bosiy /  
(position, name, surname)

Normative controller: / Ass. Prof. Irina Potapchuk /  
(position, name, surname)

# Міністерство освіти і науки України

## Український державний університет науки і технологій

Факультет: Управління енергетичними процесами

Кафедра: Інтелектуальні системи енергопостачання

Рівень вищої освіти: Бакалавр

Освітня програма: Електротехнічні системи електроспоживання

Спеціальність: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(ШИФР ТА НАЗВА)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІСЕ

Дмитро БОСИЙ

(підпис)

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Дата \_\_\_\_\_

### ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

бакалавра

(ступінь вищої освіти)

студенту

Богаченко Владиславу Євгенійовичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: Розрахунок системи електропостачання для частини енергетичної системи між підстанціями 35кВ. Побутові накопичувачі електричної енергії.

Керівник роботи: Босий Дмитро Олексійович, д.т.н., доцент

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від

19.02.2025 р.

№ 20

2. Строк подання студентом роботи: 10.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: вихідні дані до кваліфікаційної роботи відповідно до варіанту, дані відкритих джерел інформації

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Тягове електропостачання: розрахунок навантажень на систему тягового електропостачання, вибір контактної мережі, механічний розрахунок контактної підвіски

4.2 Електричні підстанції та станції: вибір основного обладнання тягової підстанції, розрахунки струмів короткого замикання, проектування сонячної електростанції

4.3 Електромережі та релейний захист: розрахунок кабельної лінії електропересилання, вибір уставок релейного захисту СЕС

4.4 Індивідуальне завдання: Побутові накопичувачі електричної енергії

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

графіки струмів поїздів на ділянці, графіку руху поїздів, графіки струмів фідерів тягових підстанцій, монтажні криві для контактної підвіски, однолінійна

розрахункова схема тягових підстанцій, схеми заміщення при розрахунку

струмів к.з., звіт проекту сонячної електростанції з програми PVsyst

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Тягове електропостачання	10.05.2025	
2	Електричні підстанції та станції	20.05.2025	
3	Електромережі та релейний захист	06.06.2025	
4	Індивідуальне завдання	08.06.2025	
5	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	10.06.2025	
6	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	24.06.2025	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Владислав БОГАЧЕНКО

\_\_\_\_\_ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Дмитро БОСИЙ

\_\_\_\_\_ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра: 96с., 34 рис., 29 табл., 13 джерел.

Об'єкт розробки – частина енергетичної системи між підстанціями 35 кВ.

Мета роботи – розрахунок системи електропостачання між підстанціями 35кВ.

Методи дослідження. Вирішення поставлених завдань здійснювалося з використанням теоретичних матеріалів у даній галузі, методів математичного програмування та програмного комплексу PVsyst.

Для досягнення даної мети виконано розрахунок навантажень на систему тягового електропостачання, вибір контактної мережі, проведено механічний розрахунок контактної підвіски, розрахунок струмів короткого замикання та вибір основного обладнання тягової підстанції, виконано проектування сонячної електростанції, розрахунок кабельної лінії електропересилання та вибір параметрів релейного захисту кабельної лінії.

Результатами роботи являються визначені значення струмів фідерів та підстанцій, струмів короткого замикання на всіх приєднаннях, вибір трансформаторів, вимикачів та роз'єднувачів, визначення обладнання для сонячних станцій.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, КОНТАКТНА МЕРЕЖА, СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1. ТЯГОВЕ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ .....	8
1.1 Струмозподіл у тяговій мережі.....	8
1.1.1 Навантаження тягових підстанцій.....	9
1.1.2 Струм фази трансформатора підстанції змінного струму.....	16
1.1.3 Переріз контактної мережі.....	19
1.1.4 Визначення питомих річних втрат електроенергії.....	20
1.1.5 Перевірка контактної підвіски за нагрівом.....	23
1.2 Механічний розрахунок анкерної ділянки .....	25
2. ЕЛЕКТРИЧНІ ПІДСТАНЦІЇ ТА СТАНЦІЇ .....	31
2.1 Розрахунок потужності трансформаторів.....	31
2.2 Розрахунок струмів к.з.....	35
2.3 Розрахунок максимальних робочих струмів приєднань.....	46
2.4 Вибір електричних апаратів вище 1000 В.....	48
2.5 Проектування сонячної електростанції.....	51
3. ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ ТА РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ .....	65
3.1 Розрахунок кабельної лінії електропересилання.....	65
3.2 Вибір уставок релейного захисту СЕС.....	73
4. ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ.....	82
4.1 Типи побутових накопичувачів.....	82
4.2 Перспективні напрямки розвитку накопичувачів.....	87
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	94
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	95

						<b>02.15.ЕС20120.КРБ.2023–ПЗ</b>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Богаченко</i>			Розрахунок системи електропостачання для частини енергетичної системи між підстанціями 35кВ. Побутові накопичувачі електричної енергії	<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Консульт.</i>							6	96
<i>Керівник</i>		<i>Босий</i>				УДУНТ, ІСЕ, гр. ЕС2111		
<i>Н. контр.</i>		<i>Потанчук</i>						
<i>Зав.каф.</i>		<i>Босий</i>						

## ВСТУП

Сукупність електротехнічних пристроїв від генераторів електростанцій до тягової мережі складає систему електропостачання електрифікованих залізниць. Системи тягового електропостачання корінним чином відрізняються від систем електропостачання промислових підприємств, що зумовлено навантаженнями, які змінюються в координатах часу та простору.

Основне призначення системи тягового електропостачання полягає в забезпеченні експлуатаційної роботи електрифікованих залізниць. Для цього необхідно, щоб загальна потужність всіх елементів системи була достатньою для забезпечення кожному електровозу необхідної потужності в різноманітних умовах роботи залізничного транспорту. Розв'язання поставленої задачі можливе лише за умови правильного вибору параметрів системи електропостачання, тобто забезпечення роботи обладнання в допустимих для нього межах по навантаженню та дотримання необхідної якості електроенергії.

Метою даної роботи є придбання та закріплення навичок вибору параметрів та визначення показників роботи системи тягового електропостачання, виконання проектних розрахунків для ділянки електрифікованої залізниці змінного струму.

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		7

# 1. ТЯГОВЕ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Таблиця 1.1 – Вихідні дані

Варіант	Розташування тягових підстанцій	Розміри руху, пар/доба	Графік руху	Графіки струму
2	5-55-85	85	3	3

## 1.1 Струмозподіл у тяговій мережі

Стумові навантаження поїздів зображені на рис.1.1. Графіки руху поїздів зображені на рис.1.2.

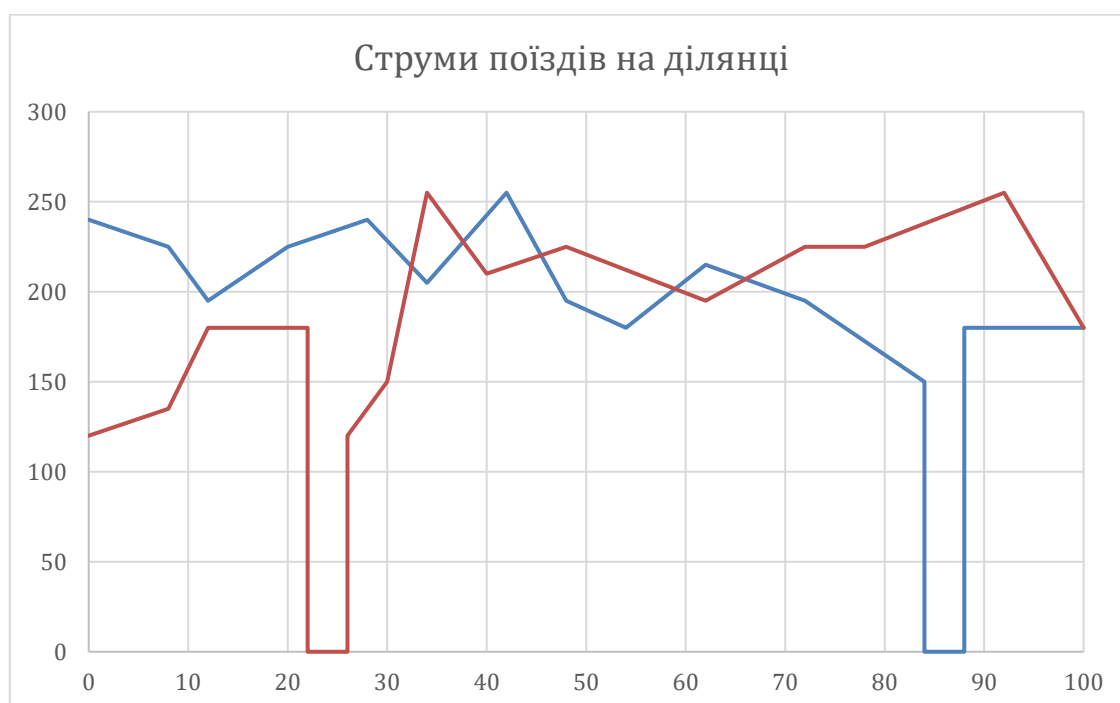


Рисунок 1.1 – струмові навантаження поїздів

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата



Рисунок 1.2 – графіки руху поїздів

### 1.1.1 Навантаження тягових підстанцій

Розраховуємо середній струм фідера за час руху поїзда

$$I = \frac{1}{2 \cdot t} \sum_{k=1}^n (I_{t(k-1)} + I_{tk}) \cdot \Delta t_k, \quad (1.1)$$

$$I_1 = 197,2 \text{ A},$$

$$I_2 = 226,7 \text{ A},$$

$$I_3 = 96,5 \text{ A},$$

$$I_4 = 126,6 \text{ A}.$$

Ефективний струм фідера за час руху розрахункового поїзда по МПЗ розраховується за формулою:

$$I_{\text{еф1}} = \sqrt{\frac{1}{3 \cdot t} \sum_{k=1}^n (I_{t(k-1)}^2 + I_{tk}^2 + I_{t(k-1)} \cdot I_{tk}) \cdot \Delta t_k}, \quad (1.2)$$

Розраховуємо ефективний струм фідера за час руху поїзда

$$I_e = \frac{1}{3 \cdot t} \sum_{k=1}^n (I_{t(k-1)}^2 + I_{tk}^2 + I_{t(k-1)} \cdot I_{tk}) \cdot \Delta t_k, \quad (1.3)$$

$$I_{e1}=238,4 \text{ A,}$$

$$I_{e2}=254,7 \text{ A,}$$

$$I_{e3}=122,1 \text{ A,}$$

$$I_{e4}=126,1 \text{ A.}$$

Струми фідерів підстанції визначаються для двох режимів навантаження:

- 1) режиму середніх розмірів руху поїздів ( $N = N_{сер}$ );
- 2) режиму згущення поїздів ( $N = N_{зг} = 0,9N_0$ );
- 3) режиму максимальних розмірів руху ( $N = N_0$ ).

Середній струм фідера підстанції визначається за формулою

$$I_{\phi} = \frac{n_0 \cdot N}{N_0} \cdot I, \quad (1.4)$$

де  $n_0$  – максимальна кількість поїздів, які одночасно знаходяться на даній МПЗ (міжпідстанційної зони).

У свою чергу,

$$n_0 = \frac{t}{J}, \quad (1.5)$$

$J$  – мінімальний міжпоїздний інтервал, хв;

$N$  – добова кількість поїздів на ділянці, пар;

$N_0$  – максимальна пропускна спроможність ділянки, пар;

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		10

$$N_0 = \frac{T}{j}, \quad (1.6)$$

де  $T$  – розрахунковий період, що дорівнює кількості хвилин у добі, хв.

Розрахуємо максимальну кількість поїздів для кожної МПЗ:

$$n_{01} = \frac{44,3}{10} = 4,43 \text{ пар};$$

$$n_{02} = \frac{20,4}{10} = 2,04 \text{ пар};$$

$$n_{03} = \frac{29,2}{10} = 2,92 \text{ пар};$$

$$n_{04} = \frac{23,6}{10} = 2,36 \text{ пар};$$

Розрахуємо максимальну пропускну спроможність ділянки:

$$N_0 = \frac{24 \cdot 60}{10} = 144 \text{ пар}; \quad (1.7)$$

Ефективний струм фідера підстанції визначається в залежності від схеми живлення:

1) для консольного живлення

$$I_{\text{фе}}^2 = \frac{n_0 \cdot N}{N_0} \cdot I_e^2 + \frac{n_0(n_0-1) \cdot N^2}{N_0^2} \cdot I^2; \quad (1.8)$$

2) для двостороннього живлення

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		11

$$I_{\Phi e}^2 = \frac{4 \cdot n_0 \cdot N}{3 \cdot N_0} \cdot I_e^2 + \frac{n_0 \cdot (n_0 - \frac{4}{3}) \cdot N^2}{N_0^2} \cdot I^2. \quad (1.9)$$

Отримавши необхідні значення розрахуємо середній струм фідера підстанції для кожної МПЗ.

Для режиму середніх розмірів руху поїздів:

$$I_{\Phi 1} = \frac{4,43 \cdot 85 \cdot 197,1}{144} = 515,4 \text{ A}; \quad (1.3)$$

$$I_{\Phi 2} = \frac{2,04 \cdot 85 \cdot 226,7}{144} = 273 \text{ A}; \quad (1.3)$$

$$I_{\Phi 3} = \frac{2,92 \cdot 85 \cdot 96,5}{144} = 166,3 \text{ A}; \quad (1.3)$$

$$I_{\Phi 4} = \frac{2,36 \cdot 85 \cdot 126,6}{144} = 176,4 \text{ A}; \quad (1.3)$$

Розрахуємо ефективний струм фідера за час руху розрахункового поїзда для режиму середніх розмірів руху поїздів.

$$I_{e\Phi 1} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,43 \cdot 85}{3 \cdot 144} \cdot 238,4^2 + \frac{2,92 \cdot (2,92 - \frac{4}{3}) \cdot 85^2}{144^2} \cdot 197,1^2} = 619,6 \text{ A}; \quad (1.2)$$

$$I_{e\Phi 2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,04 \cdot 85}{3 \cdot 144} \cdot 254,7^2 + \frac{2,92 \cdot (2,92 - \frac{4}{3}) \cdot 85^2}{144^2} \cdot 226,7^2} = 360,5 \text{ A}; \quad (1.2)$$

$$I_{e\Phi 3} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,92 \cdot 85}{3 \cdot 144} \cdot 122,1^2 + \frac{2,92 \cdot (2,92 - \frac{4}{3}) \cdot 85^2}{144^2} \cdot 96,5^2} = 222 \text{ A}; \quad (1.2)$$

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		12

$$I_{\text{ef4}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,36 \cdot 85}{3 \cdot 144} \cdot 126,1^2 + \frac{2,92 \cdot (2,92 - \frac{4}{3}) \cdot 85^2}{144^2} \cdot 126,6^2} = 207,5 \text{ A}; \quad (1.2)$$

Розрахуємо середній струм фідера підстанції для режиму згущення поїздів:

$$I_{\phi 1} = \frac{4,43 \cdot 130 \cdot 197,1}{144} = 788,3 \text{ A}; \quad (1.3)$$

$$I_{\phi 2} = \frac{2,04 \cdot 130 \cdot 226,7}{144} = 417,5 \text{ A}; \quad (1.3)$$

$$I_{\phi 3} = \frac{2,92 \cdot 130 \cdot 96,5}{144} = 254,4 \text{ A}; \quad (1.3)$$

$$I_{\phi 4} = \frac{2,36 \cdot 130 \cdot 126,6}{144} = 269,7 \text{ A}; \quad (1.3)$$

Розрахуємо ефективний струм фідера за час руху розрахункового поїзда для режиму згущення поїздів.

$$I_{\text{ef1}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,43 \cdot 130}{3 \cdot 144} \cdot 238,4^2 + \frac{2,92 \cdot (2,92 - \frac{4}{3}) \cdot 130^2}{144^2} \cdot 197,1^2} = 858,7 \text{ A}; \quad (1.2)$$

$$I_{\text{ef2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,04 \cdot 130}{3 \cdot 144} \cdot 254,7^2 + \frac{2,92 \cdot (2,92 - \frac{4}{3}) \cdot 130^2}{144^2} \cdot 226,7^2} = 468,7 \text{ A}; \quad (1.2)$$

$$I_{\text{ef3}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,92 \cdot 130}{3 \cdot 144} \cdot 122,1^2 + \frac{2,92 \cdot (2,92 - \frac{4}{3}) \cdot 130^2}{144^2} \cdot 96,5^2} = 295,9 \text{ A}; \quad (1.2)$$

$$I_{\text{ef4}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,36 \cdot 130}{3 \cdot 144} \cdot 126,1^2 + \frac{2,92 \cdot (2,92 - \frac{4}{3}) \cdot 130^2}{144^2} \cdot 126,6^2} = 277,2 \text{ A}; \quad (1.2)$$

Розрахуємо середній струм фідера підстанції для режиму максимальних розмірів руху:

$$I_{\phi 1} = \frac{4,43 \cdot 144 \cdot 197,1}{144} = 873,2 \text{ A}; \quad (1.3)$$

$$I_{\phi 2} = \frac{2,04 \cdot 144 \cdot 226,7}{144} = 462,5 \text{ A}; \quad (1.3)$$

$$I_{\phi 3} = \frac{2,92 \cdot 144 \cdot 96,5}{144} = 281,8 \text{ A}; \quad (1.3)$$

$$I_{\phi 4} = \frac{2,36 \cdot 144 \cdot 126,6}{144} = 298,8 \text{ A}; \quad (1.3)$$

Розрахуємо ефективний струм фідера за час руху розрахункового поїзда для режиму максимальних розмірів руху.

$$I_{e\phi 1} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,43 \cdot 144}{3 \cdot 144} \cdot 238,4^2 + \frac{2,92 \cdot (2,92 - \frac{4}{3}) \cdot 144^2}{144^2} \cdot 197,1^2} = 932 \text{ A}; \quad (1.2)$$

$$I_{e\phi 2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,04 \cdot 144}{3 \cdot 144} \cdot 254,7^2 + \frac{2,92 \cdot (2,92 - \frac{4}{3}) \cdot 144^2}{144^2} \cdot 226,7^2} = 500,5 \text{ A}; \quad (1.2)$$

$$I_{e\phi 3} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,92 \cdot 144}{3 \cdot 144} \cdot 122,1^2 + \frac{2,92 \cdot (2,92 - \frac{4}{3}) \cdot 144^2}{144^2} \cdot 96,5^2} = 318,1 \text{ A}; \quad (1.2)$$

$$I_{e\phi 4} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,36 \cdot 144}{3 \cdot 144} \cdot 126,1^2 + \frac{2,92 \cdot (2,92 - \frac{4}{3}) \cdot 144^2}{144^2} \cdot 126,6^2} = 298,1 \text{ A}; \quad (1.2)$$

Середній струм кожного плеча живлення розраховується за формулою:

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		14

$$I_{\text{пл}} = \sum_i^{\nu} I_{\text{фi}} \quad (1.10)$$

де  $\nu$  – кількість фідерів даного плеча живлення, шт.

Ефективний струм плеча живлення визначається за формулою:

$$I_{\text{пл}}^2 = \left(\sum_1^{\nu} I_{\text{фi}}\right)^2 + \sum_1^{\nu} I_{\text{фei}}^2 - \sum_1^{\nu} I_{\text{фi}}^2 \quad (1.11)$$

Розрахуємо середній струм плеч живлення для режиму середніх струмів руху поїздів.

$$I_{\text{пр}} = 166,3 + 176,4 = 342,7 \text{ А}; \quad (1.10)$$

$$I_{\text{лів}} = 515,4 + 273 = 788,4 \text{ А}; \quad (1.10)$$

Розрахуємо ефективний струм для плеч живлення.

$$I_{\text{пр}} = \sqrt{342,7^2 + (222^2 + 207,5^2) - (166,3^2 + 176,4^2)} = 388,6 \text{ А}; \quad (1.11)$$

$$I_{\text{лів}} = \sqrt{788,4^2 + (619,6^2 + 360,5^2) - (515,4^2 + 273^2)} = 891,78 \text{ А}. \quad (1.11)$$

Середній струм плеч живлення для режиму згущення поїздів:

$$I_{\text{пр}} = 254,4 + 269,7 = 524,1 \text{ А}; \quad (1.10)$$

$$I_{\text{лів}} = 788,3 + 417,5 = 1205,8 \text{ А}; \quad (1.10)$$

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		15

Розрахуємо ефективний струм.

$$I_{\text{пр}} = \sqrt{524,1^2 + (295,9^2 + 277,2^2) - (254,4^2 + 269,7^2)} = 549,2 \text{ А}; \quad (1.11)$$

$$I_{\text{лв}} = \sqrt{1205,8^2 + (858,7^2 + 468,7^2) - (788,3^2 + 417,5^2)} = 1270,9 \text{ А}. \quad (1.11)$$

Середній струм плеч живлення для режиму максимальних розмірів руху:

$$I_{\text{пр}} = 281,8 + 298,8 = 580,6 \text{ А}; \quad (1.10)$$

$$I_{\text{лів}} = 873,2 + 462,4 = 1335,7 \text{ А}; \quad (1.10)$$

Розрахуємо ефективний струм.

$$I_{\text{пр}} = \sqrt{580,6^2 + (318,1^2 + 298,1^2) - (281,8^2 + 298,8^2)} = 598,7 \text{ А}; \quad (1.11)$$

$$I_{\text{лв}} = \sqrt{1335,7^2 + (932^2 + 500,5^2) - (873,2^2 + 462,5^2)} = 1388,1 \text{ А}. \quad (1.11)$$

### 1.1.2 Струм фази трансформатора підстанції змінного струму

Середній струм фази трансформатора розраховується за формулами:

– для фаз а і с:

$$I_{a(c)} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{4 \cdot I_1^2 + I_2^2 + 2 \cdot I_1 \cdot I_2}; \quad (1.12)$$

– для фази в:

$$I_b = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{I_1^2 + I_2^2 - I_1 \cdot I_2}; \quad (1.13)$$

Ефективні струми фаз трансформатора розраховуються за формулами:

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		16

– для фаз а і с:

$$I_{a(c)e}^2 = \frac{1}{9} \cdot \sqrt{4 \cdot I_{e1}^2 + I_{e2}^2 + 2 \cdot I_1 \cdot I_2}; \quad (1.14)$$

– для фази b:

$$I_{be}^2 = \frac{1}{9} \cdot \sqrt{I_{e1}^2 + I_{e2}^2 - 2 \cdot I_1 \cdot I_2}; \quad (1.15)$$

де  $I_1, I_{e1}$  – середній та ефективний струми плеча живлення, яке живиться від розрахункової фази, А;

$I_2, I_{e2}$  – середній та ефективний струми плеча живлення, яке живиться від суміжного плеча живлення, А.

Розрахуємо середні та ефективні струми для середніх розмірів руху поїздів.

$$I_a = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{4 \cdot 788,4^2 + 342,7^2 + 2 \cdot 788,4 \cdot 342,7} = 591,1 \text{ А}; \quad (1.12)$$

$$I_b = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{788,4^2 + 342,7^2 - 788,4 \cdot 342,7} = 228,2 \text{ А}; \quad (1.13)$$

$$I_c = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{4 \cdot 342,7^2 + 788,4^2 + 2 \cdot 788,4 \cdot 342,7} = 425,8 \text{ А}; \quad (1.12)$$

$$I_{ea} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{4 \cdot 891,7^2 + 388,6^2 + 2 \cdot 788,4 \cdot 342,7} = 655,9 \text{ А}; \quad (1.14)$$

$$I_{eb} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{891,7^2 + 388,6^2 - 788,4 \cdot 342,7} = 274,1 \text{ А}; \quad (1.15)$$

$$I_{ec} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{4 \cdot 388,6^2 + 891,7^2 + 2 \cdot 788,4 \cdot 342,7} = 464,2 \text{ А}; \quad (1.14)$$

Розрахуємо середні та ефективні струми для режиму згущення поїздів.

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		17

$$I_a = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{4 \cdot 1205,8^2 + 524,1^2 + 2 \cdot 1205,8 \cdot 524,1} = 904 \text{ A}; \quad (1.12)$$

$$I_b = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{1205,8^2 + 524,1^2 - 1205,8 \cdot 524,1} = 349,1 \text{ A}; \quad (1.13)$$

$$I_c = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{4 \cdot 524,1^2 + 1205,8^2 + 2 \cdot 1205,8 \cdot 524,1} = 651,2 \text{ A}; \quad (1.12)$$

$$I_{ea} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{4 \cdot 1270,9^2 + 549,2^2 + 2 \cdot 1205,8 \cdot 524,1} = 1061,9 \text{ A}; \quad (1.14)$$

$$I_{eb} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{1270,9^2 + 549,2^2 - 1205,8 \cdot 524,1} = 403,87 \text{ A}; \quad (1.15)$$

$$I_{ec} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{4 \cdot 549,2^2 + 1270,9^2 + 2 \cdot 1205,8 \cdot 524,1} = 831,3 \text{ A}; \quad (1.14)$$

Розрахуємо середні та ефективні струми для режиму максимальних розмірів руху поїздів.

$$I_a = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{4 \cdot 1335,6^2 + 580,6^2 + 2 \cdot 1335,6 \cdot 580,6} = 1001,3 \text{ A}; \quad (1.12)$$

$$I_b = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{1335,6^2 + 580,6^2 - 1335,6 \cdot 580,6} = 386,65 \text{ A}; \quad (1.13)$$

$$I_c = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{4 \cdot 580,6^2 + 1335,6^2 + 2 \cdot 1335,6 \cdot 580,6} = 721,3 \text{ A}; \quad (1.12)$$

$$I_{ea} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{4 \cdot 1388,1^2 + 598,7^2 + 2 \cdot 1335,6 \cdot 580,6} = 1033,7 \text{ A}; \quad (1.14)$$

$$I_{eb} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{1388,1^2 + 598,7^2 - 1335,6 \cdot 580,6} = 409,6 \text{ A}; \quad (1.15)$$

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		18

$$I_{ec} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{4 \cdot 598,7^2 + 1388,1^2 + 2 \cdot 1335,6 \cdot 580,6} = 738,7 \text{ А}; \quad (1.14)$$

Занесемо результати розрахунків у таблицю 1.2

Таблиця 1.2 – Результати розрахунків

Приєднання	Середні розміри руху		Режим згущення поїздів		Максимальний режим	
	середній струм, А	Ефективний струм, А	середній струм, А	Ефективний струм, А	середній струм, А	Ефективний струм, А
Фідер 1	515,4	619,6	788,3	858,7	873,2	932
Фідер 2	273	360,5	417,5	468,7	462,5	500,5
Фідер 3	166,3	222	254,4	295,9	281,8	318,1
Фідер 4	176,4	207,5	269,7	277,2	298,8	298,1
Ліве плече	788,4	891,7	1205,8	1270,9	1335,6	1388,1
Праве плече	342,7	388,6	524,1	549,2	580,6	598,7
Фаза «а»	591	655,9	903,9	944,4	1001,3	1033,7
Фаза «b»	228,2	274,1	349,1	377,9	386,7	409,6
Фаза «с»	425,8	464,2	651,2	673,8	721,3	738,7

### 1.1.3 Переріз контактної мережі

Зі збільшенням перерізу проводів контактної мережі зменшуються витрати, пов'язані з оплатою втрат електроенергії в тяговій мережі, але зростають капітальні витрати. Таким чином, змінюючи переріз проводів контактної мережі, за деякого значення досягається оптимум, коли приведені щорічні витрати найменші. Такий переріз контактної мережі є економічно доцільним та визначається виразом

$$F_{me} = 0,46\sqrt{B_0}, \quad (1.16)$$

де  $F_{me}$  – переріз проводів контактної мережі у мідному еквіваленті, мм<sup>2</sup>;

$B_0$  – питомі річні втрати електроенергії в проводах контактної мережі на фідерній зоні, кВт·год/Ом·рік,

$$B_0 = \frac{\Delta W_p}{r_l}, \quad (1.17)$$

де  $\Delta W_p$  – річні втрати електроенергії в проводах контактної мережі на міжпідстанційній зоні, кВт·год;

$l$  – довжина міжпідстанційної зони, км;

$r$  – питомий опір проводів контактної мережі на міжпідстанційній зоні, Ом/км.

### 1.1.4 Визначення питомих річних втрат електроенергії

Схема живлення контактної мережі на двоколієних та багатоколієних ділянках повинна передбачати підключення постів секціонування та пунктів паралельного з'єднання контактних підвісок. Для визначення  $B_0$  для вузлової схеми живлення можна скористатись виразом

$$B_0 = \frac{0,0228 \cdot W_T^2}{TU_{\text{ном}}^2} \left\{ 2,95 \left[ \frac{T}{N_{\text{пар}} t_{\text{спар}} + N_{\text{неп}} t_{\text{снеп}}} + 0,46 \left( 0,25 - \frac{\theta}{t_{\text{пар}} + t_{\text{неп}}} \right) \right] + \frac{4}{3} \frac{\theta}{t_{\text{пар}} + t_{\text{неп}}} \left( 1,1 \frac{N_{\text{опар}} t_{\text{пар}} + N_{\text{онеп}} t_{\text{неп}}}{N_{\text{пар}} t_{\text{спар}} + N_{\text{неп}} t_{\text{снеп}}} - 1 \right) + 1 \right\}, \quad (1.18)$$

Для трьохвузлової схеми живлення значення  $B_0$  можна визначити як для схеми паралельного з'єднання підвісок, тобто

$$B_0 = \frac{0,067 \cdot W_T^2}{TU_{\text{ном}}^2} \left[ \frac{T}{N_{\text{пар}} t_{\text{спар}} + N_{\text{неп}} t_{\text{снеп}}} + 0,46 \left( 1 - \frac{\theta}{t_{\text{пар}} + t_{\text{неп}}} \right) \right]. \quad (1.19)$$

У формулах (1.18), (1.19) застосовані такі позначення:

$T$  – розрахунковий період,  $T=24$  год;

$U_{\text{ном}}$  – номінальна напруга на струмоприймачеві електровоза, кВ;

$t_{\text{пар}}, t_{\text{неп}}$  – час руху поїзда міжпідстанційною зоною в парному, непарному напрямку, год;

						02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата			20

$t_{\text{спар}}, t_{\text{снеп}}$  – час споживання електроенергії поїздом у парному, непарному

напрямку, год;

$N_{\text{пар}}, N_{\text{неп}}$  – середньодобова кількість поїздів у парному, непарному напрямку;

$N_{0\text{пар}}, N_{0\text{неп}}$  – максимальна пропускна спроможність ділянки в парному, непарному напрямку;

$W_T$  – витрати електроенергії на тягу поїздів за період  $T$ , кВт·год, з урахуванням припущення про однотипність поїздів

$$W_T = W_{\text{пар}}N_{\text{пар}} + W_{\text{неп}}N_{\text{неп}}, \quad (1.20)$$

де  $W_{\text{пар}}, W_{\text{неп}}$  – витрати електроенергії на рух поїзда в парному, непарному напрямку, кВт·год,

$$W_{\text{пар(неп)}} = I_{\text{пар(неп)}} \cdot U_{\text{ном}} \cdot t_{\text{пар(неп)}}, \quad (1.21)$$

де  $I_{\text{пар}}, I_{\text{неп}}$  – середні струми поїздів під час руху розрахунковою міжпідстанційною зоною, А.

Розрахуємо середні струми поїздів під час руху МПЗ.

$$I_{\text{пар}} = \frac{1}{2 \cdot 29,2} [(240 + 225)1,7 + (225 + 195)2,2 + (195 + 225)4,4 + (225 + 240)4,4 + (240 + 205)3,3 + (205 + 255)4,9 + (225 + 195)3,8 + (195 + 180)3,9 + (215 + 180)0,7], \quad (1.1)$$

$$I_{\text{пар}} = 218,8 \text{ А};$$

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		21

$$I_{\text{неп}} = \frac{1}{2 \cdot 44,3} [(120 + 135)3 + (135 + 180)3,7 + (180 + 180)8,3 + (120 + 150)3,3 + (150 + 225)3,3 + (225 + 210)6 + (210 + 225)7,3 + (225 + 195)5,8], \quad (1.1)$$

$$I_{\text{неп}} = 175,5 \text{ А};$$

Розрахуємо витрати електроенергії на рух поїзда у парному і непарному напрямках.

$$W_{\text{пар}} = 218,8 \cdot 25 \cdot 0,487 = 2663,9 \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (1.21)$$

$$W_{\text{неп}} = 175,5 \cdot 25 \cdot 0,683 = 2996,7 \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (1.21)$$

Порахуємо витрати електроенергії на тягу поїздів за період  $T$ .

$$W_T = 2996,7 \cdot 85 + 2663,9 \cdot 85 = 481151 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (1.20)$$

Для визначення  $B_0$  для вузлової схеми живлення скористаємося виразом:

$$B_0 = \frac{0,0228 \cdot 481151^2}{24 \cdot 25^2} \left\{ 2,95 \left[ \frac{24}{85 \cdot 0,683 + 85 \cdot 0,487} + 0,46 \left( 0,25 - \frac{0,167}{0,738 + 0,487} \right) \right] + \frac{4}{3} \frac{0,167}{0,738 + 0,487} \left( 1,1 \frac{144 \cdot 0,738 + 144 \cdot 0,487}{85 \cdot 0,683 + 85 \cdot 0,487} - 1 \right) + 1 \right\}, \quad (1.18)$$

$$B_0 = 717522,6, \text{ кВт} \cdot \text{год} / (\text{Ом} \cdot \text{рік}).$$

Розрахуємо переріз проводів контактної мережі у мідному еквіваленті

Для ділянки з двома коліями:

$$F_{\text{ме}} = 0,46 \sqrt{717522,6} = 389,7 \text{ мм}^2 \quad (1.16)$$

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		22

Для ділянки з однією колією:

$$F_{\text{ме}} = \frac{389,7}{2} = 194,8 \text{ мм}^2 \quad (1.16)$$

Визначимо питомі річні втрати електроенергії в проводах контактної мережі на фідерній зоні для трьохвузлової схеми.

$$B_0 = \frac{0,067 \cdot 481151^2}{24 \cdot 25^2} \left[ \frac{24}{85 \cdot 0,683 + 85 \cdot 0,487} + 0,46 \left( 1 - \frac{0,167}{0,738 + 0,487} \right) \right]. \quad (1.19)$$

$$B_0 = 660369,3 \text{ кВт} \cdot \text{год} / (\text{Ом} \cdot \text{рік}).$$

Розрахуємо переріз проводів контактної мережі у мідному еквіваленті

Для ділянки з двома коліями:

$$F_{\text{ме}} = 0,46 \sqrt{660369,3} = 373,8 \text{ мм}^2 \quad (1.16)$$

Для ділянки з однією колією:

$$F_{\text{ме}} = \frac{373,8}{2} = 186,9 \text{ мм}^2 \quad (1.16)$$

Обираємо тип контактної підвіски. Дані занесемо в таблицю 1.3

Таблиця 1.3 – Параметри контактної підвіски

Тип підвіски	Переріз у мідному еквіваленті, мм <sup>2</sup>	Тривалий допустимий струм при 15%-му зношенні контактних проводів, А
М-95+МФ-100	195	1060

### 1.1.5 Перевірка контактної підвіски за нагрівом

Прийнятий у проекті переріз контактної підвіски повинен бути перевірений на термічну стійкість. Для цього необхідно вибрати найбільш завантажену міжпідстанційну зону.

В умовах курсового проекту використовується спосіб перевірки контактної підвіски за розрахунковим струмом, який треба порівняти з допустимим для обраної підвіски. Контактна підвіска перевіряється в місці підключення споживаючого фідера для роздільної роботи колій (незалежно від дійсної схеми з'єднання підвісок) та 20-хвилинного періоду інтенсивного струмоспоживання.

Розрахунковий струм фідера:

$$I_{\text{роз}} = I_{\text{фід}} k'_{i20} k_{\phi}, \quad (1.22)$$

де  $k_{\phi}$  – коефіцієнт, що враховує вплив зміни навантаження під час 20-хвилинного періоду найбільшого струмоспоживання на нагрів проводів контактної підвіски:

$$k_{\phi} = \frac{0,36\alpha^2}{n_0} + 1, \quad (1.23)$$

де  $\alpha$  – відношення часу руху поїзда міжпідстанційною зоною до часу струмоспоживання,

$$\alpha = \frac{t}{t_c}, \quad (1.24)$$

$k'_{i20}$  – коефіцієнт інтенсивності 20-хвилинного навантаження фідера, який визначається в залежності від добової витрати електроенергії фідером у добу інтенсивного електроспоживання.

Розрахуємо вищенаведені значення:

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		24

$$I_{\text{роз}} = 788,3 \cdot 2 \cdot 1,095 = 1724,8 \text{ A}, \quad (1.22)$$

$$k_{\phi} = \frac{0,36 \cdot 1,081^2}{4,43} + 1 = 1,095; \quad (1.23)$$

$$\alpha = \frac{0,738}{0,683} = 1,081; \quad (1.24)$$

$$I_{\text{роз}} = 1724,8 > 1060 \text{ A}.$$

Прийнятий переріз контактної підвіски не проходить перевірку на термічну стійкість, отже беремо контактну підвіску типу М95+МФ-100+2А185.

## 1.2 Механічний розрахунок анкерної ділянки

Таблиця 1.4 – Параметри контактної підвіски розглядуваної анкерної ділянки

Варіант	Несучий трос	Контактний провід	Прогони анкерної ділянки
2	М-95	МФ-100	2x70+3x60+15x50+4x55

Таблиця 1.5 – Навантаження на елементи контактної підвіски

Варіант	Лінійне навантаження, даН/м											
	гн	гк	g0	рнv	ркv	qнv	гкг	гнг	g0 + гг	рнг	ркг	qнг
2	0,834	0,873	1,807	0,872	0,816	2,006	0,859	2,604	5,27	1,925	1,132	5,61

### 1.2.1 Довжина еквівалентного прогону

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		25

$$I_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n l_i^3}{l_a}}, \quad (1.25)$$

де  $l_i$  – довжина  $i$ -го прогону, м;

$l_a$  – довжина анкерної ділянки, м.

Розрахуємо довжину еквівалентного прогону.

$$I_e = \sqrt{\frac{2 \cdot 70^3 + 3 \cdot 60^3 + 15 \cdot 50^3 + 4 \cdot 55^3}{2 \cdot 70 + 3 \cdot 60 + 15 \cdot 50 + 4 \cdot 55}} = 54,8 \text{ м.} \quad (1.25)$$

### 1.2.2 Розрахунковий режим

$$I_{кр} = T_{max} \sqrt{\frac{24 \cdot \alpha (t_r - t_{min})}{q_{нр}^2 - g_0^2}}, \quad (1.26)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт температурного лінійного розширення матеріалу тросу, 1/К.

Підставимо наші значення в формулу:

$$I_{кр} = 1600 \cdot \sqrt{408 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{(-5 - (-35))}{5,61^2 - 1,807^2}} = 33,3 \text{ м.} \quad (1.26)$$

В нашому випадку  $I_{кр} > I_e$ , тому обираємо режим мінімальної температури.

### 1.2.3 Натяг навантаженого несучого тросу

$$t_x = A + \frac{B}{T_x^2} - \frac{T_x}{\alpha ES}; \quad (1.27)$$

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		26

$$A = t_{\text{реж}} - \frac{q_{\text{реж}}^2 l_e^2}{24\alpha T_{\text{max}}^2} + \frac{T_{\text{max}}}{\alpha ES}; \quad (1.28)$$

$$B = \frac{g_0^2 l_e^2}{24\alpha}, \quad (1.29)$$

де  $\alpha ES$  – добуток коефіцієнта температурного лінійного розширення матеріалу троса, модуля пружності Юнга та площі поперечного перерізу, даН/°С.

$$A = -5 - \frac{5,61^2 \cdot 54,8^2}{408 \cdot 10^{-6} \cdot 1600^2} + \frac{1600}{20,37} = -16,94 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (1.28)$$

$$B = \frac{1,807^6 \cdot 54,8^6}{408 \cdot 10^{-6}} = 2,4034 \cdot 10^7 \text{ даН}^2 \cdot ^\circ\text{C}. \quad (1.29)$$

Прораховуємо значення  $t_x$  підставляючи натяг несучого троса від 1600 даН до 200 даН.

Таблиця 1.6 – Залежність температури від натягу несучого троса

$T_x$ , даН	2000	1800	1600	1400	1200	1000	800	600
$t_x$ , °С	-51,84	-38,34	-22,61	-3,268	22,26	59,41	121,2	254,4

#### 1.2.4 Температура при якій контактний провід не має стріли прогину

$$t_0 = t_{\text{сер}} - \Delta t, \quad (1.30)$$

$$t_{\text{сер}} = \frac{t_{\text{max}} + t_{\text{min}}}{2}, \quad (1.31)$$

де  $\Delta t = 10 \dots 15^\circ\text{C}$  (для одного контактної проводу);

$$t_{\text{сеп}} = \frac{30 + (-35)}{2} = -2.5^\circ\text{C}; \quad (1.31)$$

$$t_0 = -2,5 - 10 = -12,5^\circ\text{C}. \quad (1.30)$$

### 1.2.5 Натяг несучого троса, при якому відсутній прогин контактної проводу

$$t_0 = A + \frac{B}{T_0^2} - \frac{T_0}{\alpha ES}. \quad (1.32)$$

Значення  $T_0$  підбираємо ітераційним методом.

$$T_0 = 759 \text{ даН.}$$

### 1.2.6 Натяг несучого троса при ожеледі з вітром

$$t_x = A + \frac{B_\Gamma}{T_\Gamma^2} - \frac{T_\Gamma}{\alpha ES}; \quad (1.33)$$

$$B_\Gamma = \frac{q_{\text{нр}}^2 l_e^2}{24\alpha}. \quad (1.34)$$

Розрахуємо ці значення:

$$B_\Gamma = \frac{5,61^2 \cdot 54,8^2}{408 \cdot 10^{-6}} = 2,316 \cdot 10^7 \text{ даН} \cdot ^\circ\text{C}; \quad (1.34)$$

$$T_\Gamma = 1600 \text{ даН.}$$

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		28

### 1.2.6 Натяг несучого троса при максимальній швидкості вітру

$$t_v = A + \frac{B_v}{T_v^2} - \frac{T_v}{\alpha ES}; \quad (1.35)$$

$$B_v = \frac{q_{\text{вн}}^2 l_e^2}{24\alpha}. \quad (1.36)$$

Розрахуємо приведені вище значення.

$$B_v = \frac{2,006^2 \cdot 54,8^2}{408 \cdot 10^{-6}} = 2,9618 \cdot 10^7 \text{ даН} \cdot \text{°С}; \quad (1.36)$$

$$T_v = 719 \text{ даН}.$$

### 1.2.7 Стріла прогину контактного проводу

$$f_{xi} = \frac{g_0(l_n - 2e_n)^2}{8(T_x + nK)} \left(1 - \frac{T_x}{T_0}\right), \quad (1.37)$$

де  $e_n$  – відстань від осі опори до опорної струни в прогоні  $l_n$ , м;

$l_n$  – прогін, в якому розташовується пішохідний місток, м.

Розрахуємо стрілу прогину контактного проводу.

$$f_{xi} = \frac{1,807(70 - 2 \cdot 10)^2}{8(932 + 1000)} \left(1 - \frac{932}{759}\right) = -0,067 \text{ м}. \quad (1.37)$$

### 1.2.8 Стріла прогину навантаженого несучого троса

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		29

$$F_{\text{хп}} = \frac{1}{T_x} \left( \frac{g_0 l_n^2}{8} + b_n H - f_{\text{хп}} K n \right), \quad (1.38)$$

де  $b_n$  – відстань між несучим та ресорним тросом по осі опори в прогоні  $l_n$ , м;

$H$  – натяг ресорного троса, даН.

Розрахуємо стрілу прогину навантаженого несучого троса.

$$F_{\text{хп}} = \frac{1}{932} \left( \frac{1,807 \cdot 70^2}{8} + 0,7 \cdot 150 - (-0,067) 1000 \right) = 1,372 \text{ м.} \quad (1.38)$$

### 1.2.9 Натяг ненавантаженого несучого троса.

$$t_x = A + \frac{B_p}{T_{px}^2} - \frac{T_{px}}{\alpha ES}; \quad (1.39)$$

$$B_p = \frac{g_H l_e^2}{24\alpha}; \quad (1.40)$$

Розрахуємо ці значення:

$$B_p = \frac{0,834^2 \cdot 54,8^2}{408 \cdot 10^{-6}} = 5,1196 \cdot 10^6 \text{ даН}^2 \cdot \text{°С}; \quad (1.40)$$

$$T_{px} = 631 \text{ даН.}$$

### 1.2.10 Стріла прогину ненавантаженого несучого тросу

$$F_{pxn} = \frac{g_n l_e^2}{8T_{px}}. \quad (1.41)$$

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		30

Розрахуємо це значення:

$$F_{рхп} = \frac{0,834^2 \cdot 70^2}{8 \cdot 631} = 0,81 \text{ м.} \quad (1.41)$$

Таблиця 1.7 – Монтажна таблиця

tx, °C	-35	-30	-20	-10	0	10	20	30
Tx, даН	932	887	809	744	689	641	601	567
fx, м	-0,067	-0,05	-0,021	0,006	0,031	0,053	0,073	0,091
Fxp, м	1,372	1,423	1,523	1,62	1,714	1,807	1,894	1,976
Trx, даН	631	578	492	428	380	342	313	282
Frx, м	0,81	0,884	1,038	0,194	1,344	1,494	1,632	1,768

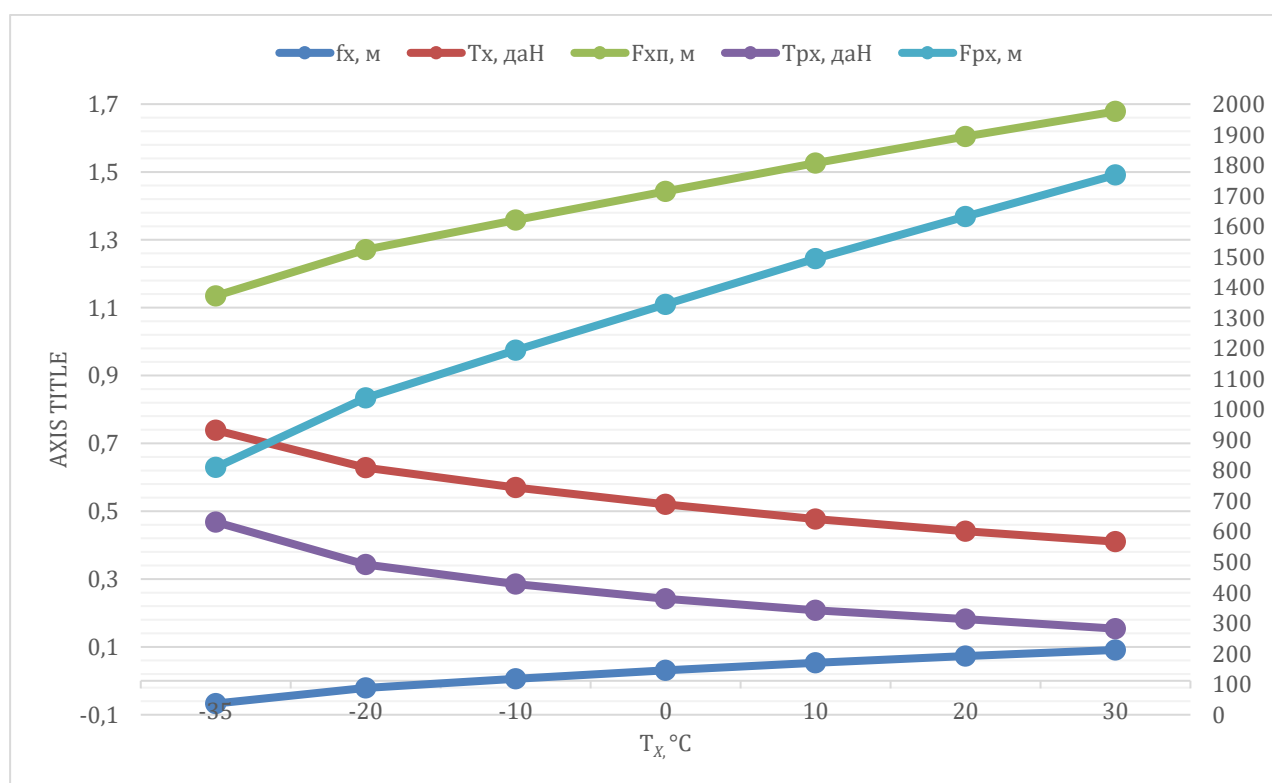


Рисунок 1.1 – Монтажні криві

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

## 2. ЕЛЕКТРИЧНІ ПІДСТАНЦІЇ ТА СТАНЦІЇ

### 2.1 Розрахунок потужності трансформаторів

Таблиця 1.7 – Вихідні дані

Варіант	Потужність Sk1	Потужність Sk2	Потужність Фідера ПЕ/ДПР, кВА/км
2	2300	2600	50/25

Потужність нетягового навантаження на шинах 35 кВ складає 20 % від тягового навантаження, а на шинах 10 кВ – 10 %.

Зобразимо структурну схему розрахункової підстанції на рис. 2.1.

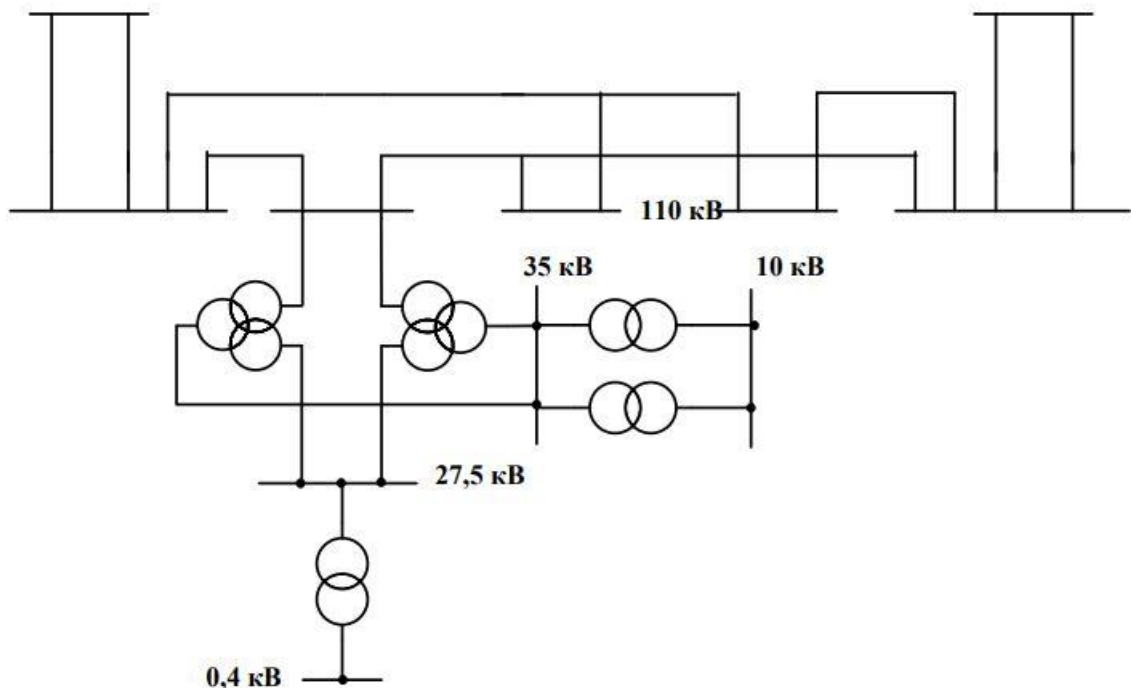


Рисунок 2.1 – Структурна схема розрахункової ТП

Максимальна потужність на шинах 27,5 кВ:

$$S_{max\ 27,5} = S_T + S_{TCH} + S_{дпр}; \quad (2.1)$$

де  $S_T$  - потужність тягового навантаження на шинах 27,5 кВ (кВА);  $S_{Tch}$  - потужність трансформаторів власних потреб, кВА;  $S_{дпр}$  - потужність не тягових споживачів, які живляться від шин 27,5 кВ (кВА);

Потужність тягового навантаження:

$$S_T = U_{ш}(2I'_d + 0,65I''_d)k_{нр}k_{ку}; \quad (2.2)$$

де  $U_{ш}$  - напруга на шинах РП 27,5 кВ;  $I'_d$  - ефективний струм найбільш завантаженого плеча (фази) трансформатора, А;  $I''_d$  - ефективний струм найменш завантаженого плеча (фази) трансформатора, А;  $k_{нр}$  - коефіцієнт різночасності навантаження фаз трансформатора, приймається 0,9;  $k_{ку}$  - коефіцієнт компенсованого пристрою, який враховує зниження потрібної на тягу потужності при роботі компенсованого пристрою, (приймається 0,93).

Або перетворивши формулу (2.2) отримаємо:

$$S_T = (2S' + 0,65S'')k_{нр}k_{ку};$$

$$S_T = (2 \cdot 8,5 + 0,65 \cdot 7,9)0,9 \cdot 0,93 = 18,53 \text{ МВА} = 18530 \text{ кВА}. \quad (2.3)$$

Потужність фідера ДПР знаходиться по заданій потужності в кВА на 1 км:

$$S_{дпр} = S_{дпр1} \cdot L,$$

$$S_{дпр} = 25 \cdot 10 = 250 \text{ кВА}.$$

Відповідно до (2.1) отримаємо:

$$S_{max27,5} = 18530 + 400 + 250 = 19180 \text{ кВА}.$$

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		33

Потужність нетягового навантаження на шинах 35 кВ складає 20 % від тягового навантаження, а на шинах 10 кВ – 10 %, тобто:

$$S_{max\ 35} = 0,2 \cdot 18530 = 3706 \text{ кВА};$$

$$S_{max\ 10} = 0,1 \cdot 18530 = 1853 \text{ кВА}.$$

У відповідності до потужності на шинах 10 кВ приймаємо районний трансформатор типу ТМ-2500/35 У1. Тоді отримаємо:

$$S_{ш. max\ 35} = (S_{РТ} + S_{max\ 35})k_p;$$

$$S_{ш. max\ 35} = (2500 + 3706) \cdot 0,95 = 5895,7 \text{ кВА}.$$

Розрахункова потужність головного понижуючого трансформатора:

$$S_{розрах. max} = (S_{ш. max\ 27,5} + S_{ш. max\ 35})k_p;$$

$$S_{розрах. max} = (19180 + 5895,7) \cdot 0,95 = 23821 \text{ кВА}.$$

Результати вибору трансформаторів зведемо до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вибрані трансформатори та їх паспортні дані

№ п/п	Тип трансформатора	Кількість	U <sub>1</sub> , кВ	U <sub>2</sub> , кВ	U <sub>3</sub> , кВ	U <sub>к</sub> , %			Схема з'єднання
						В-С	В-Н	С-Н	
1	ТДТНЖ - 25000/110 У1	2	115	38,5	27,5	18	10,5	6,8	Y <sub>0</sub> /Y <sub>Н</sub> /Δ <sub>0</sub> – 11
2	ТМ – 2500/35 У1	2	35		10,5		6,5		Y/Δ-11
3	ТМ – 400/10 У1	2	10		0,4		4,5		Y/Y <sub>0</sub> – 0

Потужність підстанції:

$$S_{ТП} = 4 \cdot 2500 = 100000 \text{ кВА.}$$

## 2.2 Розрахунок струмів к.з.

Схема заміщення представлена на рис.2.2.

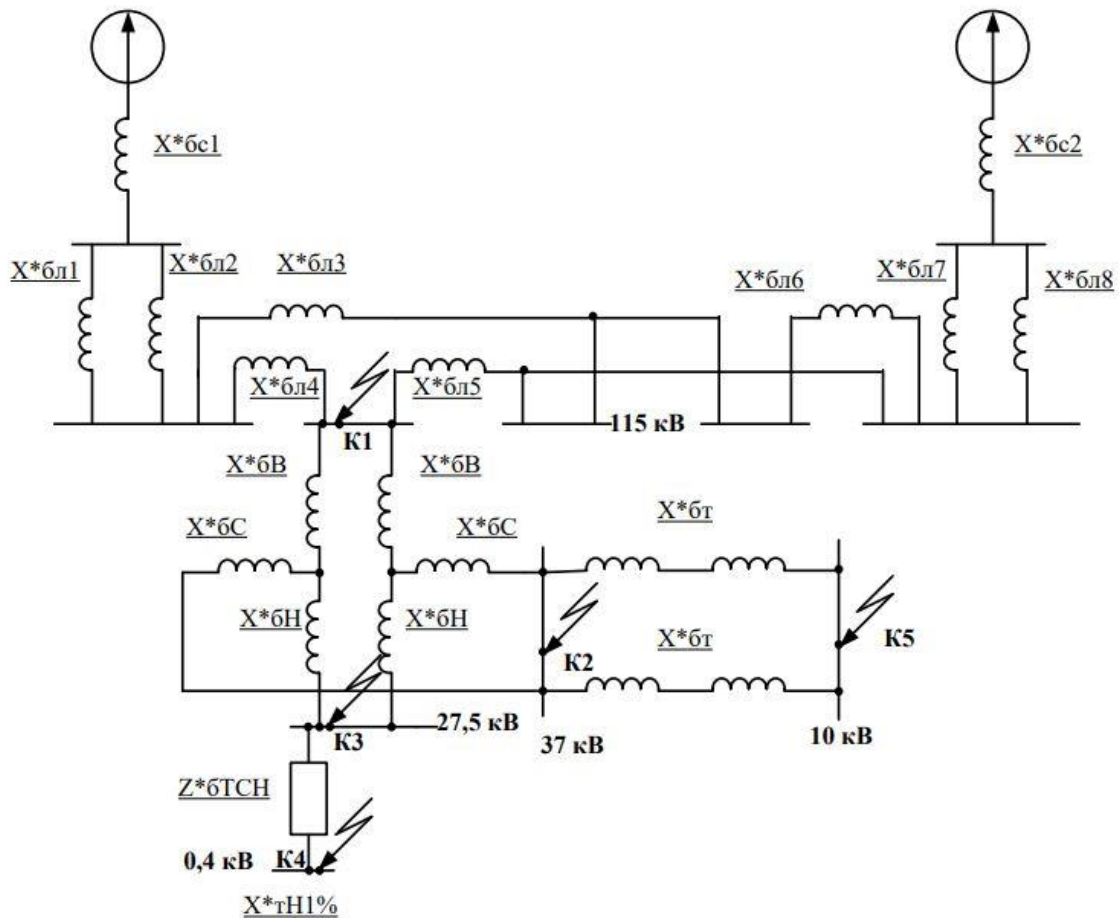


Рисунок 2.2 – Схема заміщення

Приймаємо базисну потужність  $100 \text{ б } S = \text{МВА}$ . Як базисну напругу приймаємо середню лінійну напругу тієї ступені, де проводиться розрахунок струму к.з.

$$U_{\text{ср.ш.110}} = 115 \text{ кВ}, U_{\text{ср.ш.35}} = 37 \text{ кВ}, U_{\text{ср.ш.25}} = 26,2 \text{ кВ}, U_{\text{ср.ш.0,4}} = 0,4 \text{ кВ.}$$

Базисний струм знаходимо за формулою:

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		35



$$x_{*бсист1} = \frac{100}{2600} = 0,038. \quad (2.5)$$

Розрахуємо базисний струм:

$$I_6 = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,502 \text{ кА}. \quad (2.3)$$

Розрахуємо опори ліній:

$$X_{*бл1} = X_{*бл2} = X_0 \cdot L_5 \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot 55 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,166;$$

$$X_{*бл3} = X_{*0} \cdot (L_1 + L_2 + L_3) \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot (50 + 50 + 52) \cdot \frac{100}{115^2} = 0,46;$$

$$X_{*бл4} = X_{*0} \cdot L_1 \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot 50 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,15;$$

$$X_{*бл5} = X_{*0} \cdot (L_1 + L_2 + L_3) \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot (50 + 50 + 52) \cdot \frac{100}{115^2} = 0,46;$$

$$X_{*бл6} = X_{*0} \cdot L_4 \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot 49 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,15;$$

$$X_{*бл7} = X_{*бл8} = X_{*0} \cdot L_6 \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot 60 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,18.$$

Будемо поступово згортати схему до точки к1 (рис.2.4):

$$X_{*бл9} = 0,5X_{*бл1} = 0,5 \cdot 0,166 = 0,083;$$

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		37

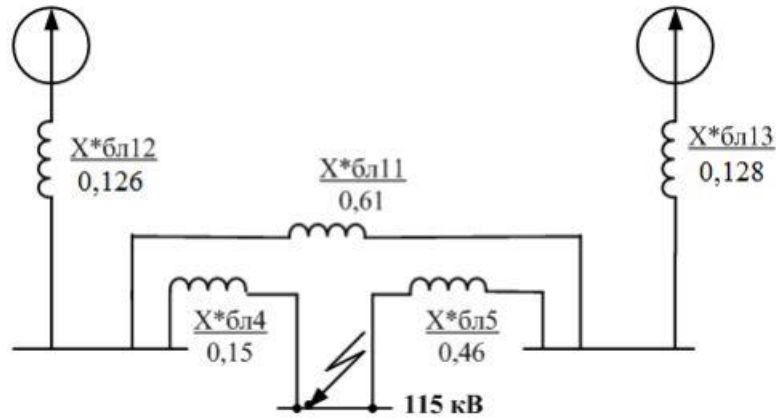


Рисунок 2.4 – Перетворена схема заміщення до точки К1

$$X_{*бл10} = 0,5X_{*бл7} = 0,5 \cdot 0,18 = 0,09;$$

$$X_{*бл11} = X_{*бл3} + X_{*бл6} = 0,46 \cdot 0,15 = 0,61;$$

$$X_{*бл12} = X_{*бс1} + X_{*бл6} = 0,043 \cdot 0,083 = 0,126;$$

$$X_{*бл13} = X_{*бс2} + X_{*бл10} = 0,038 \cdot 0,09 = 0,128.$$

Після деяких перетворень отримаємо схему на рис.2.5.

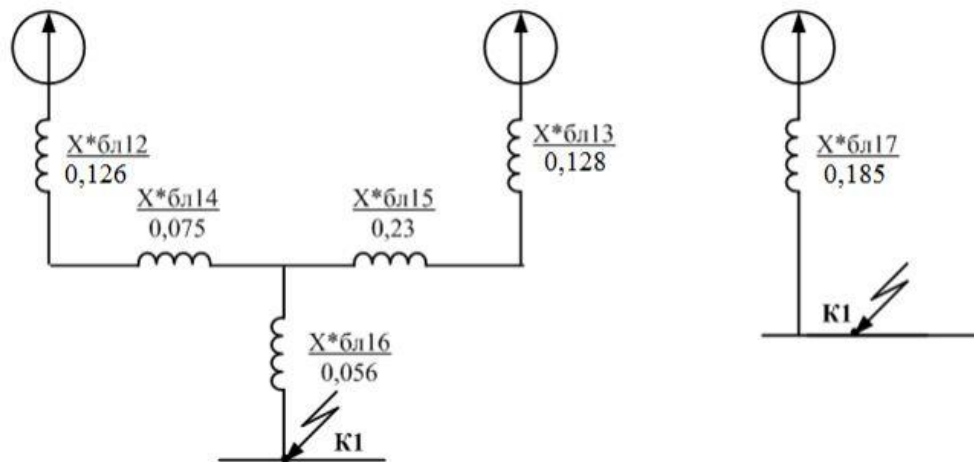


Рисунок 2.5 – Згорнута схема заміщення до точки К1

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

$$X_{*6л14} = \frac{X_{*6л4} \cdot X_{*6л11}}{X_{*6л4} + X_{*6л5} + X_{*6л11}} = \frac{0,15 \cdot 0,61}{0,15 + 0,61 + 0,46} = 0,075;$$

$$X_{*6л15} = \frac{X_{*6л5} \cdot X_{*6л11}}{X_{*6л4} + X_{*6л5} + X_{*6л11}} = \frac{0,46 \cdot 0,61}{0,15 + 0,61 + 0,46} = 0,23;$$

$$X_{*6л16} = \frac{X_{*6л4} \cdot X_{*6л5}}{X_{*6л4} + X_{*6л5} + X_{*6л11}} = \frac{0,15 \cdot 0,46}{0,15 + 0,61 + 0,46} = 0,056;$$

$$\begin{aligned} X_{*6л17} &= X_{*6л16} + \frac{(X_{*6л12} + X_{*6л14}) \cdot (X_{*6л13} + X_{*6л15})}{X_{*6л12} + X_{*6л14} + X_{*6л13} + X_{*6л15}} \\ &= 0,056 + \frac{(0,126 + 0,076) \cdot (0,128 + 0,23)}{0,126 + 0,075 + 0,128 + 0,23} = 0,185. \end{aligned}$$

Розрахуємо струм короткого замикання в точці К1.

$$I_{к1} = \frac{I_{61}}{x_{*6к1}} = \frac{0,502}{0,182} = 2,71 \text{ кА.} \quad (2.4)$$

Розрахуємо ударний струм в точці К1:

$$i_{y1} = 2,55 \cdot I_{к1} = 2,55 \cdot 2,71 = 6,91 \text{ кА.}$$

$$I_{куст1} = 1,52 \cdot I_{к1} = 1,52 \cdot 2,71 = 4,12 \text{ кА.}$$

Розрахунок струмів КЗ до точки К2, на шинах 35 кВ.

Знайдемо напруги обмоток трансформатора:

$$u_{кв} = 0,5 \cdot (u_{квс} + u_{квн} - u_{кчн}) = 0,5 \cdot (10,5 + 18 - 6,5) = 10,75;$$

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		39



Розрахуємо базисний струм для точки К2:

$$I_{62} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1,56 \text{ кА}; \quad (2.3)$$

$$X_{*6K2} = X_{*6K1} + \frac{X_{*6B} + X_{*6C}}{2} = 0,182 + \frac{0,43 + 0,01}{2} = 0,405.$$

Знайдемо струм короткого замикання в точці К2:

$$I_{K2} = \frac{I_{62}}{x_{*6K2}} = \frac{1,56}{0,405} = 3,85 \text{ кА}. \quad (2.4)$$

Знайдемо ударний струм в точці К2:

$$i_{y2} = 2,55 \cdot I_{K2} = 2,55 \cdot 3,85 = 9,82 \text{ кА}.$$

$$I_{Kуст2} = 1,52 \cdot I_{K2} = 1,52 \cdot 3,85 = 5,85 \text{ кА}.$$

Розрахунок струмів к.з. до точки К3, на шинах 27,5 кВ.

Схема заміщення до точки К3 представлена на рис. 2.7.

Загальний опір визначається:

$$X_{*6K3} = X_{*6K1} + \frac{X_{*6B} + X_{*6H}}{2} = 0,185 + \frac{0,43 + 0,27}{2} = 0,535.$$

Визначимо базисний струм для точки К3:

$$I_{63} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 27,5} = 2 \text{ кА}. \quad (2.3)$$

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		41

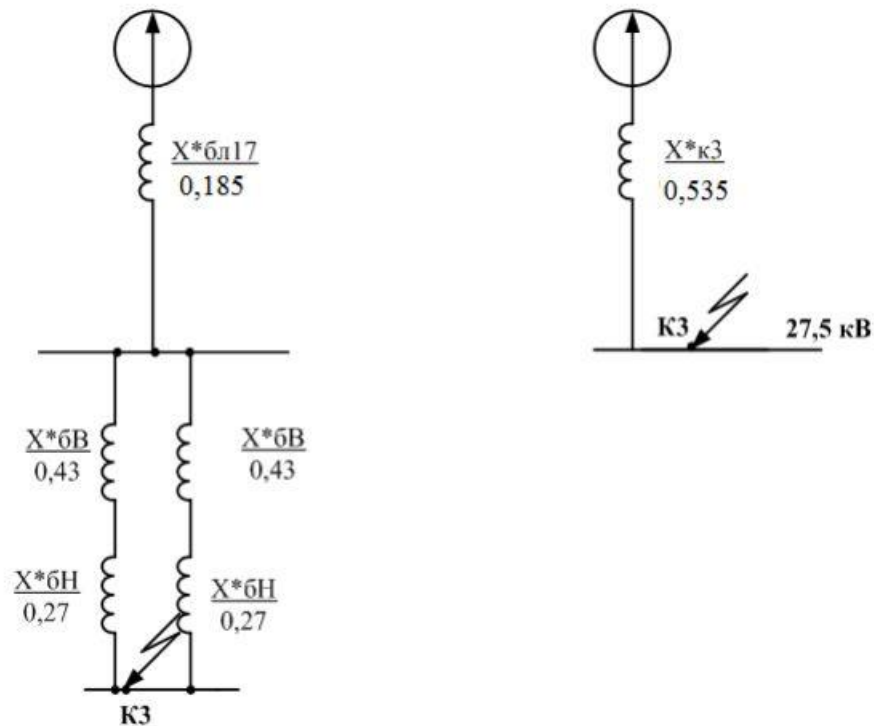


Рисунок 2.7 – Схема заміщення до точки К3

Розрахуємо струм короткого замикання в точці К3:

$$I_{к3} = \frac{I_{63}}{x_{*6К3}} = \frac{2}{0,535} = 3,74 \text{ кА.} \quad (2.4)$$

Розрахуємо ударний струм в точці К3:

$$i_{у3} = 2,55 \cdot I_{к3} = 2,55 \cdot 3,74 = 9,54 \text{ кА;}$$

$$I_{куст3} = 1,52 \cdot I_{к3} = 1,52 \cdot 3,74 = 5,68 \text{ кА.}$$

Розрахунок струмів КЗ до точки К4, на трансформаторі власних потреб зі сторони 0.4 кВ.

Схема заміщення представлена на рис. 2.8.

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		42

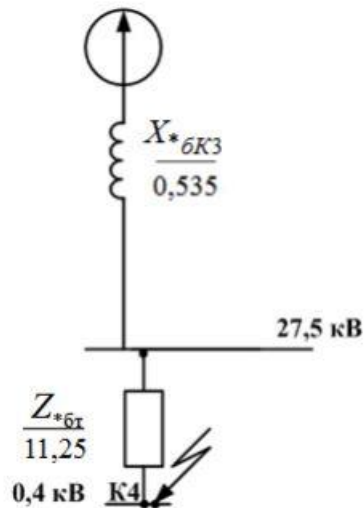


Рисунок 2.8 – Схема заміщення до точки К4

В трансформаторах власних потреб активна і індуктивна складові опору співрозмірні.

$$Z_{6Т} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{НОМТР.}}} = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{100}{0,4} = 11,25;$$

$$R_{6Т} = \frac{\Delta P_{кз}}{S_{\text{НОМТР.}}} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{НОМТР.}}} = \frac{5,5}{400} \cdot \frac{100}{0,4} = 3,44;$$

$$X_{*6Т} = \sqrt{Z_{*6Т}^2 - R_{*6Т}^2} = \sqrt{11,25^2 - 3,44^2} = 10,7;$$

$$Z_{*6Т\Sigma} = \sqrt{(X_{*6К3} + X_{*6Т})^2 + R_{*6Т}^2} = \sqrt{(0,535 + 10,7)^2 + 3,44^2} = 11,75.$$

Визначимо базисний струм для точки К4:

$$I_{64} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 144,34 \text{ кА.} \quad (2.3)$$

Знайдемо струм короткого замикання в точці К4:

$$I_{K4} = \frac{I_{64}}{Z_{*6T\Sigma}} = \frac{144,34}{11,75} = 12,32 \text{ кА.} \quad (2.4)$$

Знайдемо ударний струм в точці К4:

$$i_{y4} = 1,84 \cdot I_{K4} = 1,84 \cdot 12,32 = 22,67 \text{ кА;}$$

$$I_{Kуст4} = 1,52 \cdot I_{K4} = 1,52 \cdot 12,32 = 18,73 \text{ кА.}$$

Розрахунок струмів КЗ до точки К5, на шинах 10 кВ.

Схема заміщення представлена на рис. 2.9.

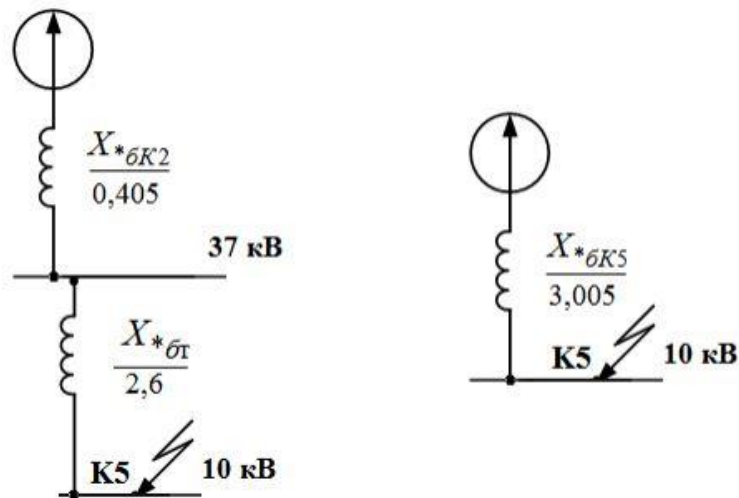


Рисунок 2.9 – Схема заміщення до точки К5

Розрахуємо опір трансформатора за формулою:

$$X_{*6T} = \frac{6,5}{100} \cdot \frac{100}{2,5} = 2,6.$$

Порахуємо загальний опір до шин 10 кВ.

$$X_{*6K5} = X_{*6K2} + X_{*6T} = 0,405 + 2,6 = 3,005.$$

Розрахуємо базисний струм для точки К5:

$$I_{65} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА.} \quad (2.3)$$

Розрахуємо струм короткого замикання в точці К5:

$$I_{K5} = \frac{I_{65}}{Z_{*6K5}} = \frac{5,5}{3,003} = 1,832 \text{ кА.} \quad (2.4)$$

Порахуємо ударний струм в точці К2:

$$i_{y5} = 2,55 \cdot I_{K5} = 2,55 \cdot 1,83 = 4,67 \text{ кА};$$

$$I_{Kуст5} = 1,52 \cdot I_{K4} = 1,52 \cdot 1,83 = 2,78 \text{ кА.}$$

Порахуємо теплові імпульси за формулами:

$$B_K = I_K^2 (t_{откл} + T_a);$$

Для точки К1:

$$B_K = 2,71^2 (2 + 0,05) = 15,06 \text{ кА}^2\text{с};$$

Для точки К2:

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		45

$$B_K = 3,85^2(1,5 + 0,05) = 23 \text{ кА}^2\text{с};$$

Для точки К3:

$$B_K = 3,74^2(0,5 + 0,05) = 7,7 \text{ кА}^2\text{с};$$

Для точки К4:

$$B_K = 12,32^2(0,5 + 0,05) = 83,48 \text{ кА}^2\text{с};$$

Для точки К5:

$$B_K = 1,83^2(1,5 + 0,05) = 5,19 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Занесемо отримані результати в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунків точок к. з.

Точки короткого замикання	Струми короткого замикання при $S_{\sigma} = 100 \text{ МВА}$				
	$I_{\sigma}$ , кА	$I_K$ , кА	$I_{\text{куст}}$ , кА	$i_y$ , кА	$B_K$ , кА <sup>2</sup> с
К1	0,502	2,71	4,12	6,91	15,06
К2	1,56	3,85	5,85	9,82	23
К3	2	3,74	5,68	9,54	7,7
К4	144,34	12,32	18,73	22,67	83,48
К5	5,5	1,83	2,78	4,67	5,19



### Закінчення таблиці 2.3

11	Збірні шини 10 кВ	$I_{\text{роб.ш.мах}} = \frac{k_{\text{рн}} \cdot \sum S_{\text{ш.ном.пт}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{0,7 \cdot 5000}{\sqrt{3} \cdot 10}$	202,3 А
12	Лінії ДПР	$I_{\text{роб.ш.мах}} = \frac{k_{\text{пер}} \cdot \sum S_{\text{ном.ДПР}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,4 \cdot 250}{2\sqrt{3} \cdot 27,5}$	7,3 А
13	Фідер К.М. праве плече	$I_{\text{роб.ш.мах}} = \frac{k_{\text{пер}} \cdot P_{\text{ПР}}}{2\sqrt{3} \cdot \cos\varphi \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,4 \cdot 8500}{2\sqrt{3} \cdot 0,85 \cdot 27,5}$	121,17 А
14	Фідер К.М. ліве плече	$I_{\text{роб.ш.мах}} = \frac{k_{\text{пер}} \cdot P_{\text{ЛІВ}}}{2\sqrt{3} \cdot \cos\varphi \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,4 \cdot 7900}{2\sqrt{3} \cdot 0,85 \cdot 27,5}$	117,7

### 2.4 Вибір електричних апаратів вище 1000 В

Вибір вимикачів.

Вимикачі вибираються по номінальній напрузі, струму і перевіряються на властивість відключення:

$$I_{\text{відкл.мах}} \geq I_{\text{к}}$$

де  $I_{\text{відкл.мах}}$  - найбільше значення струму відключення по довідниковим даним, кА;

$I_{\text{к}}$  – струм к.з., кА.

Щоб встановити вимикач у розподільчому пристрої він повинен відповідати таким умовам:

- 1)  $U_{\text{ном}} \geq U_{\text{р}}$ ;
- 2)  $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р}}$ ;
- 3)  $I_{\text{номвідкл}} \geq I_{\text{к}}$ ;
- 4)  $i_{\text{д}} \geq i_{\text{уд}}$ ;
- 5)  $I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$ ;



Таблиця 2.5 – Вибрані роз'єднувачі

№	Найменування приєднань	Тип роз'єднувача	Співвідношення паспортних і розрахункових даних			
			$\frac{U_{ном}}{U_{роб}}$	$\frac{I_{ном}}{I_{роб.мах}}$	$\frac{I_{д}}{I_{у}}$	$\frac{I_{д}^2 t_{д}}{B_{к}}$
1	Вводи в РУ-110 кВ	РДЗ.2-110Б-1000У1	110	1000	80	2201
			110	367,8	6,91	15,06
2	Сторона НН ГПТ	РДЗ.2-32/1000У1	35	1000	80	1200
			27,5	735,7	9,54	7,7
3	Споживачі 35 кВ	РДЗ.1-35/1000У1	35	1000	50	1200
			35	18	9,82	23
4	Споживачі 10 кВ	РДЗ-10/1000У1	10	1000	80	1200
			10	37,5	4,67	5,19
5	Сторона НН РТ 35/10	РДЗ.2-35/1000У1	35	1000	50	1200
			10	141,6	9,54	7,7
6	Фідер к.м. 27,5 кВ	РДЗ.1-35/1000У1	35	1000	80	1200
			27,5	121,7	9,54	7,7
7	Сторона ВН РТ-35/10	РДЗ.1-35/1000У1	35	1000	50	1200
			35	57,8	9,82	23

## 2.5 Проектування сонячної електростанції

Проектування сонячної електростанції виконуємо за допомогою програми PVsyst. Результати представлені на рис 2.10-рис. 2.18

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		51

# PVsyst - Simulation report

## Grid-Connected System

Project: Verkh'n'odniprovs'kyi rayon, Dnipropetrovs'ka oblast'

Variant: New simulation variant

Sheds on ground

System power: 2753 kWp

Kozinka - Ukraine

| Bogachenko Vladislav

Рисунок 2.10 – Проектування сонячної електростанції в програмі PVsyst

					02.15.EC2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		52



Project: Verkhn'odniprovs'kyi rayon, Dnipropetrovs'ka oblast'

Variant: New simulation variant

PVsyst V7.3.1

VC0, Simulation date: 14/05/25 16:56 with v7.3.1

Project summary

<b>Geographical Site</b> Kozinka Ukraine	<b>Situation</b> Latitude 48.48 °N Longitude 34.28 °E Altitude 146 m Time zone UTC+2	<b>Project settings</b> Albedo 0.20
<b>Meteo data</b> Kozinka Meteonorm 8.1 (1996-2015), Sat=100% - Synthetic		

System summary

<b>Grid-Connected System</b>  <b>PV Field Orientation</b> Fixed plane Tilt/Azimuth 30 / 0 °	<b>Sheds on ground</b>  <b>Near Shadings</b> Linear shadings	<b>User's needs</b> Unlimited load (grid)
<b>System information</b> <b>PV Array</b> Nb. of modules 4440 units Pnom total 2753 kWp	<b>Inverters</b> Nb. of units 50 units Pnom total 2500 kWac Pnom ratio 1.101	

Results summary

Produced Energy 3500634 kWh/year	Specific production 1272 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 85.41 %
----------------------------------	---------------------------------------	------------------------

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Near shading definition - Iso-shadings diagram	5
Main results	6
Loss diagram	7
Predef. graphs	8
Single-line diagram	14

Рисунок 2.11 – Проектування сонячної електростанції в програмі PVsyst

					02.15.EC2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		53





**PVsyst V7.3.1**

VC0, Simulation date:  
14/05/25 16:56  
with v7.3.1

**System losses**

**Auxiliaries loss**

Proportionnal to Power 1.0 W/kW  
0.0 kW from Power thresh.  
Night aux. cons. 1000 W

**AC wiring losses**

**Inv. output line up to MV transfo**

Inverter voltage 400 Vac tri  
Loss Fraction 1.52 % at STC

**Inverter: SUN2000-50KTL-ZHM3-400V**

Wire section (50 Inv.) Alu 50 x 3 x 70 mm<sup>2</sup>  
Average wires length 100 m

**MV line up to Injection**

MV Voltage 35 kV  
Wires Alu 3 x 16 mm<sup>2</sup>  
Length 300 m  
Loss Fraction 0.13 % at STC

**AC losses in transformers**

**MV transfo**

Medium voltage 35 kV

**Transformer parameters**

Nominal power at STC 2.70 MVA  
Iron Loss (24/24 Connexion) 2.50 kVA  
Iron loss fraction 0.09 % at STC  
Copper loss 29.10 kVA  
Copper loss fraction 1.08 % at STC  
Coils equivalent resistance 3 x 0.64 mΩ

Рисунок 2.13 – Проектування сонячної електростанції в програмі PVsyst

					02.15.EC2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		55



**PVsyst V7.3.1**

VC0, Simulation date:  
14/05/25 16:56  
with v7.3.1

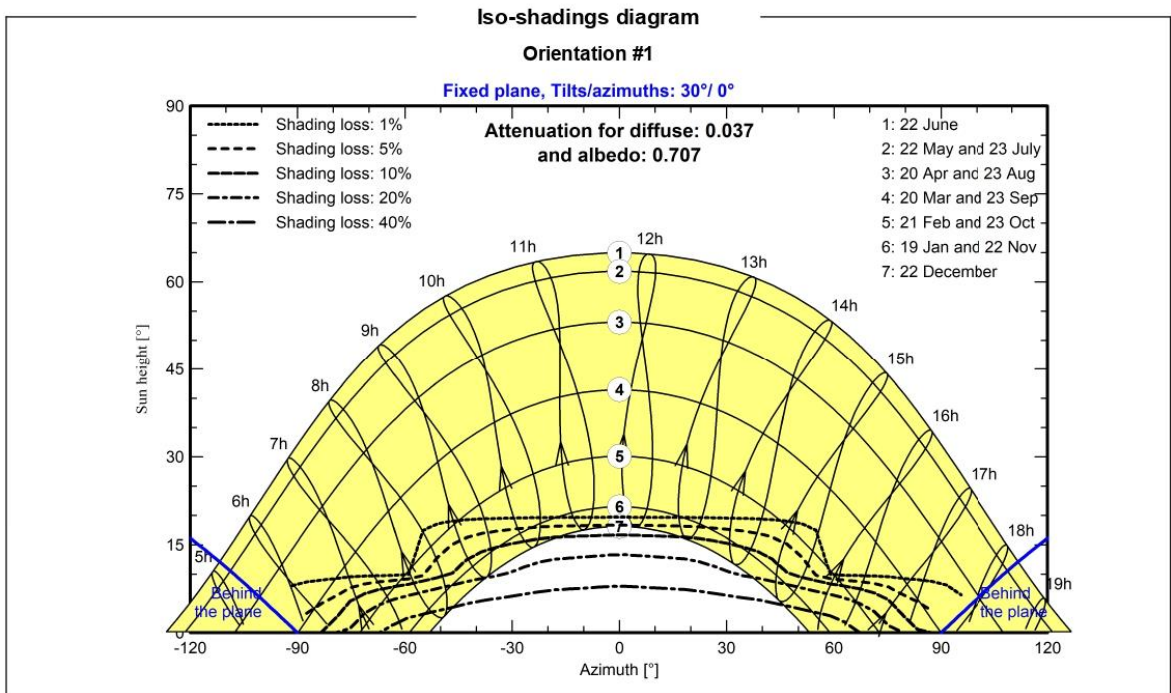
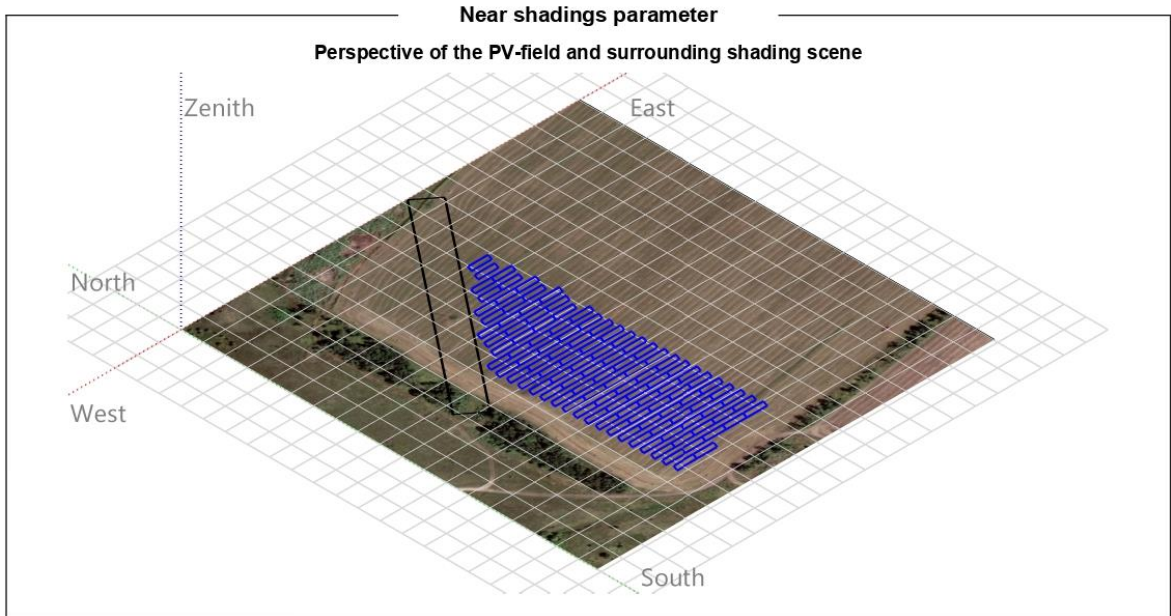


Рисунок 2.14 – Проектування сонячної електростанції в програмі PVsyst

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата



Project: Verkh'nodniprovs'kyi rayon, Dnipropetrovs'ka oblast'

Variant: New simulation variant

**PVsyst V7.3.1**

VC0, Simulation date:  
14/05/25 16:56  
with v7.3.1

**Main results**

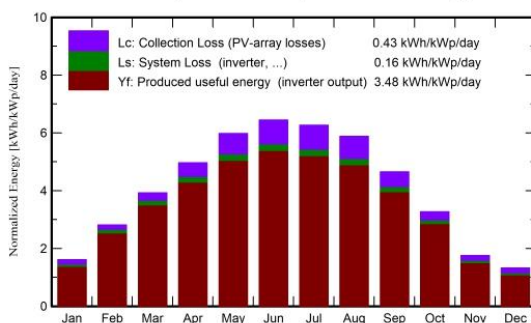
**System Production**

Produced Energy 3500634 kWh/year

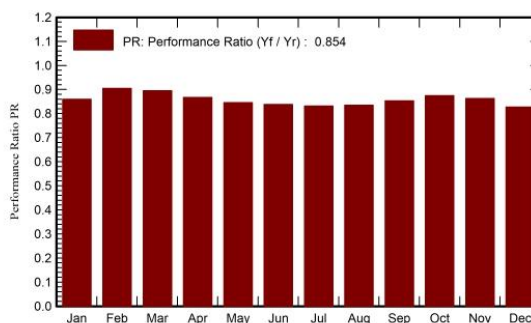
Specific production  
Performance Ratio PR

1272 kWh/kWp/year  
85.41 %

**Normalized productions (per installed kWp)**



**Performance Ratio PR**



**Balances and main results**

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	29.7	18.04	-3.38	50.0	44.9	125120	118408	0.860
February	50.7	24.24	-2.53	78.7	74.4	205781	196109	0.905
March	93.6	48.61	2.84	121.7	115.6	313475	299772	0.895
April	132.3	69.96	10.45	148.9	140.9	371380	355526	0.867
May	179.2	82.02	17.00	185.3	175.2	450353	431333	0.846
June	194.2	82.35	20.24	193.2	182.9	465232	445645	0.838
July	191.1	81.50	22.72	194.3	184.0	464401	444896	0.832
August	164.7	71.60	22.41	182.2	172.8	436877	418450	0.834
September	112.7	51.82	16.12	139.7	132.6	342839	328125	0.854
October	71.4	37.25	9.29	101.4	96.1	255659	244240	0.875
November	33.7	21.18	3.59	52.6	48.4	131683	124786	0.862
December	24.2	15.41	-0.89	41.0	36.0	99220	93344	0.828
Year	1277.3	603.96	9.89	1489.0	1403.8	3662019	3500634	0.854

**Legends**

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_Grid	Energy injected into grid
T_Amb	Ambient Temperature	PR	Performance Ratio
GlobInc	Global incident in coll. plane		
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings		

Рисунок 2.15 – Проектування сонячної електростанції в програмі PVsyst

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата



**PVsyst V7.3.1**

VC0, Simulation date:  
14/05/25 16:56  
with v7.3.1

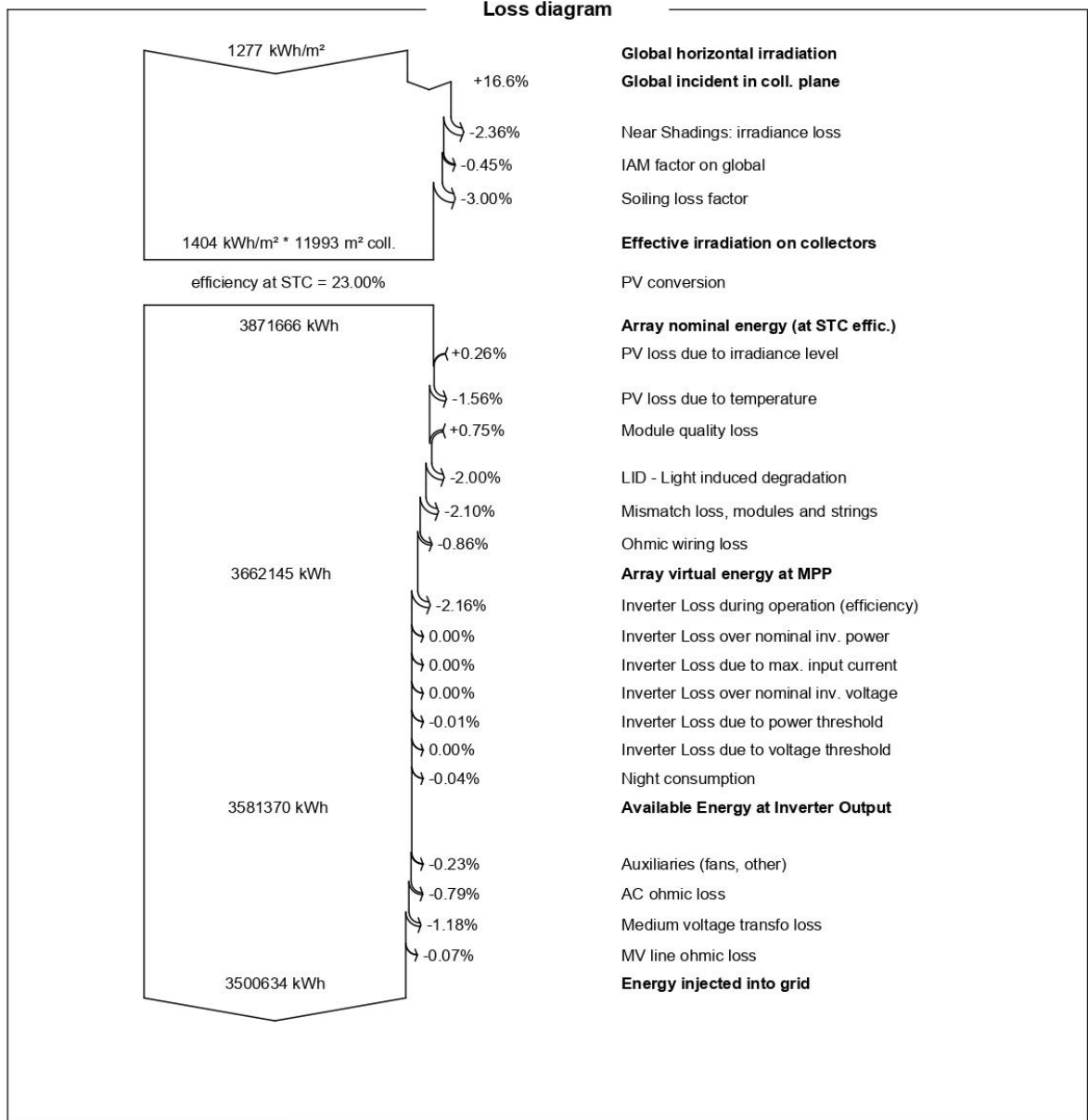


Рисунок 2.16 – Проектування сонячної електростанції в програмі PVsyst

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата



PVsyst V7.3.1

VC0, Simulation date:  
14/05/25 16:56  
with v7.3.1

Predef. graphs

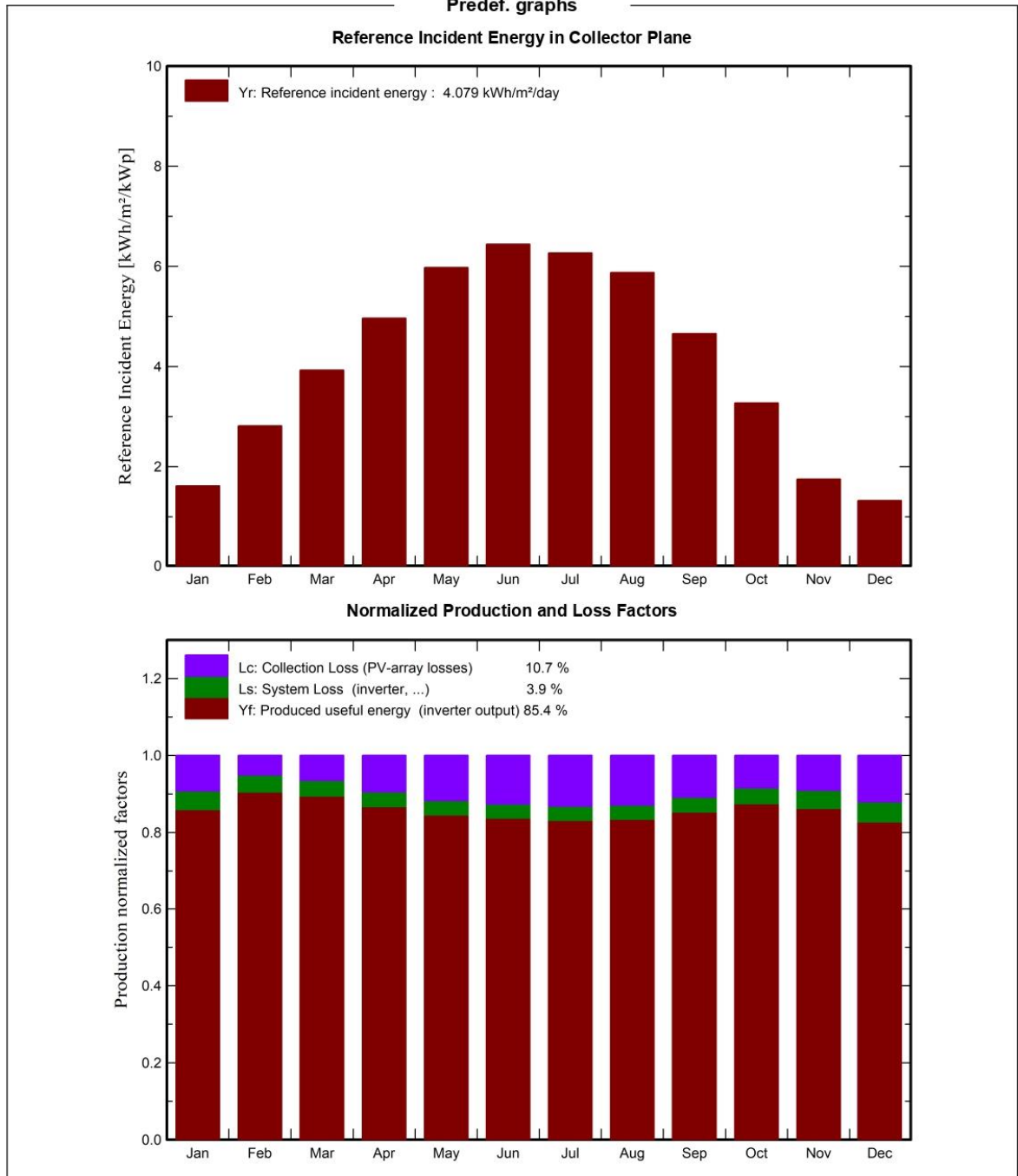


Рисунок 2.17 – Проектування сонячної електростанції в програмі PVsyst

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата



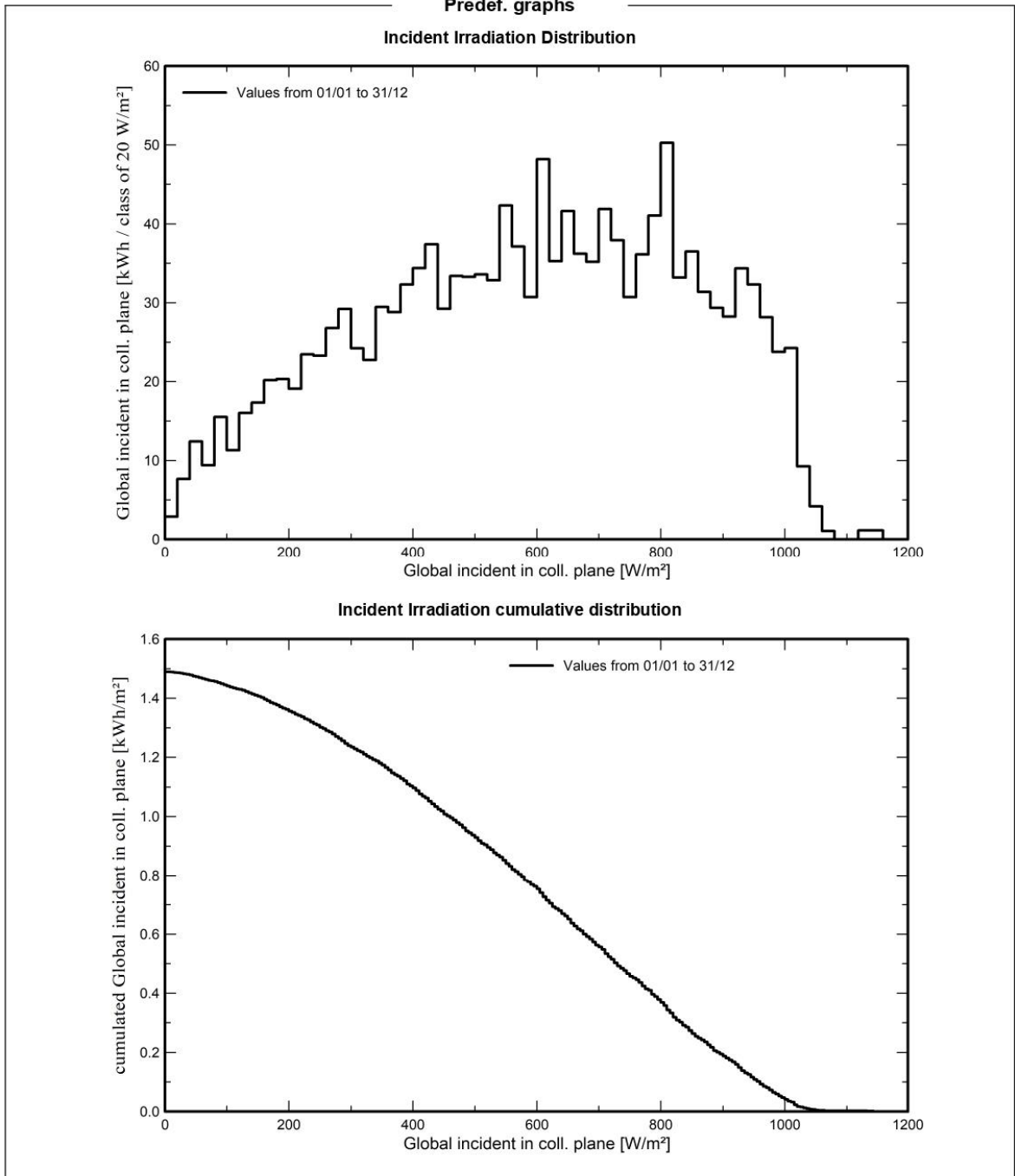
**PVsyst V7.3.1**

VC0, Simulation date:  
14/05/25 16:56  
with v7.3.1

Project: Verkhn'odniprovs'kyi rayon, Dnipropetrovs'ka oblast'

Variant: New simulation variant

**Predef. graphs**



14/05/25

Page 9/14

Рисунок 2.18 – Проектування сонячної електростанції в програмі PVsyst

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

02.15.EC2111.КРБ.2025–ПЗ

Лист

60



PVsyst V7.3.1

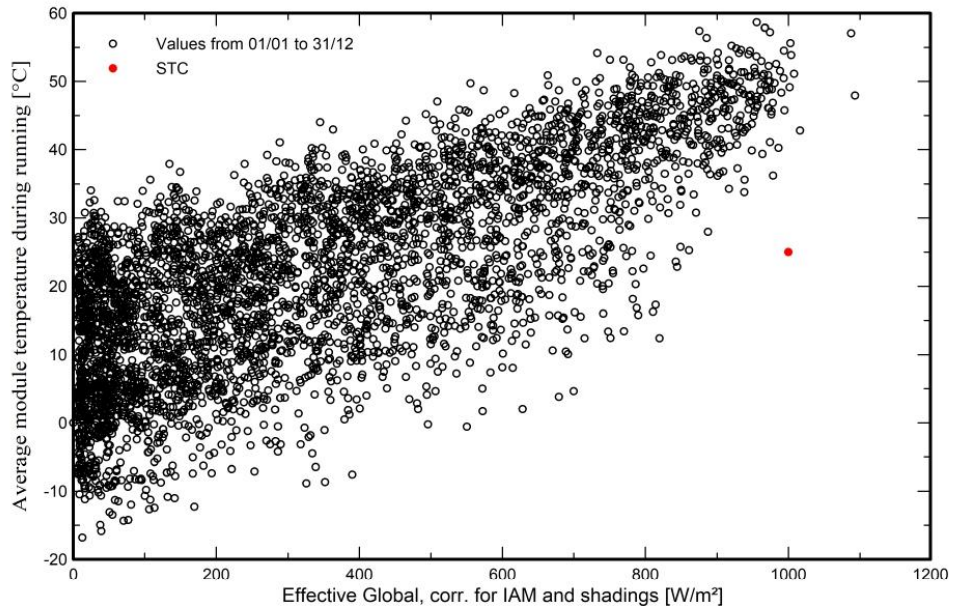
VC0, Simulation date:  
14/05/25 16:56  
with v7.3.1

Project: Verkhn'odniprovs'kyi rayon, Dnipropetrovs'ka oblast'

Variant: New simulation variant

Predef. graphs

Array Temperature vs. Effective Irradiance



Daily Input/Output diagram

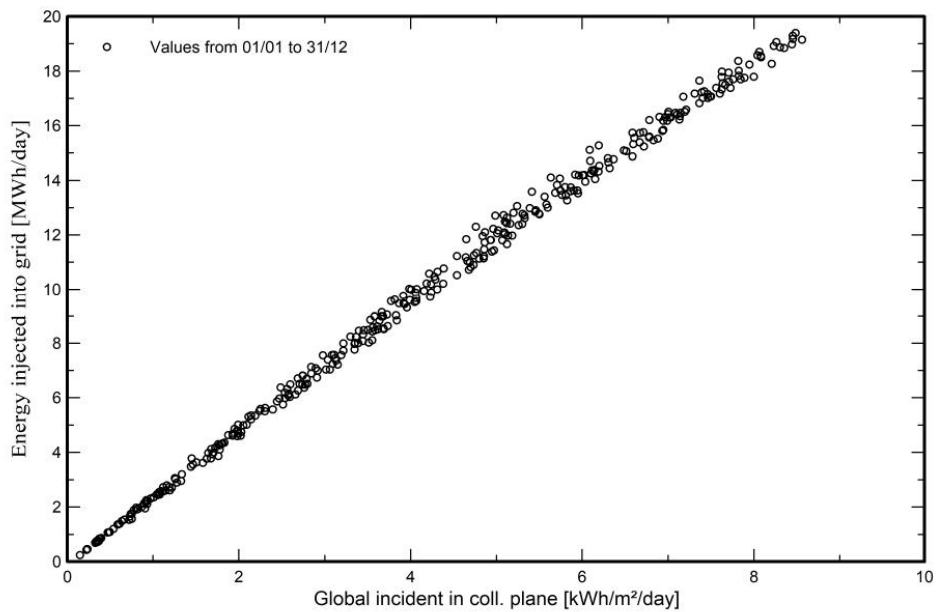


Рисунок 2.19 – Проектування сонячної електростанції в програмі PVsyst

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата



**PVsyst V7.3.1**

VC0, Simulation date:  
14/05/25 16:56  
with v7.3.1

**Predef. graphs**

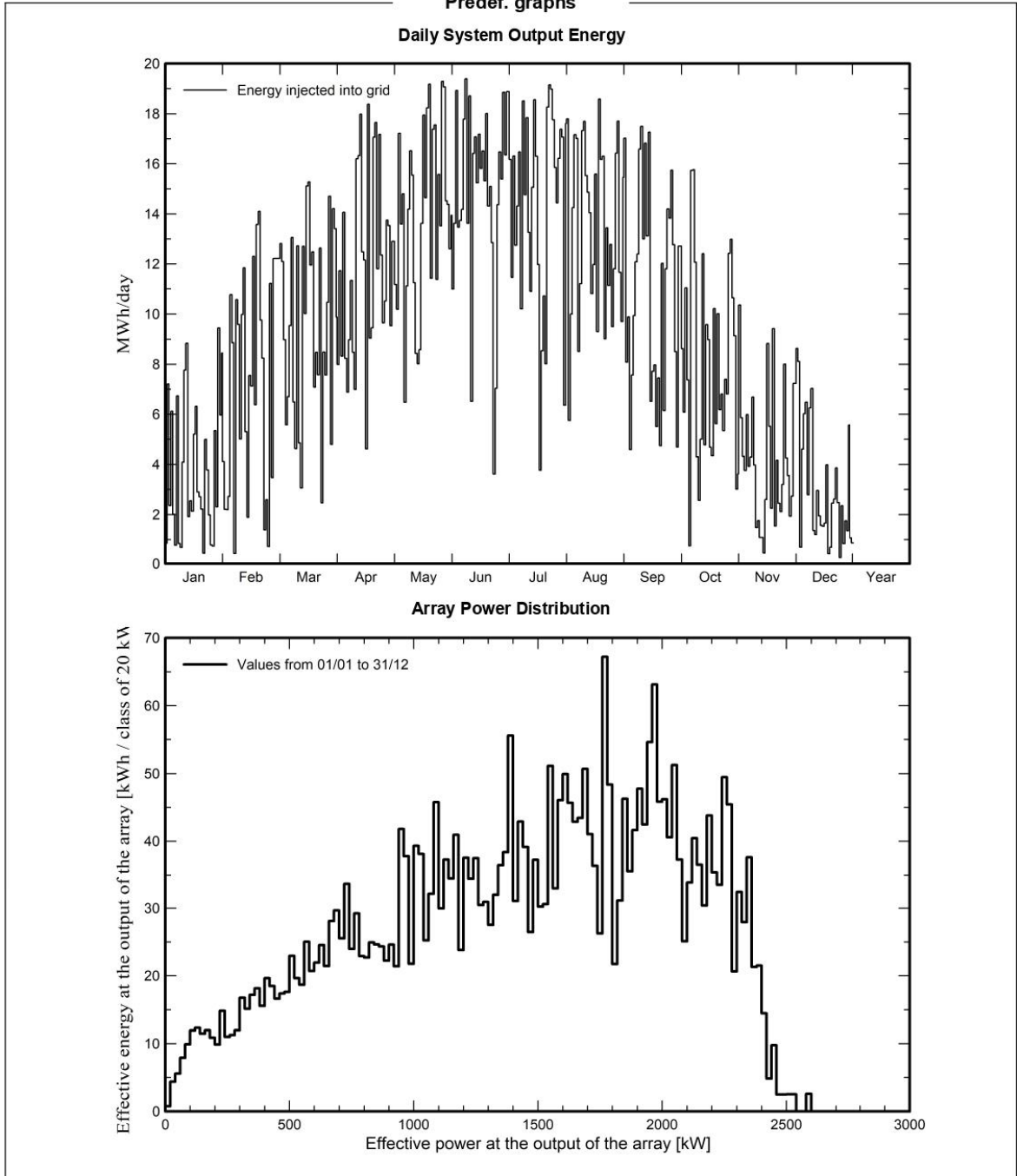


Рисунок 2.20 – Проектування сонячної електростанції в програмі PVsyst

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата



PVsyst V7.3.1

VC0, Simulation date:  
14/05/25 16:56  
with v7.3.1

Predef. graphs

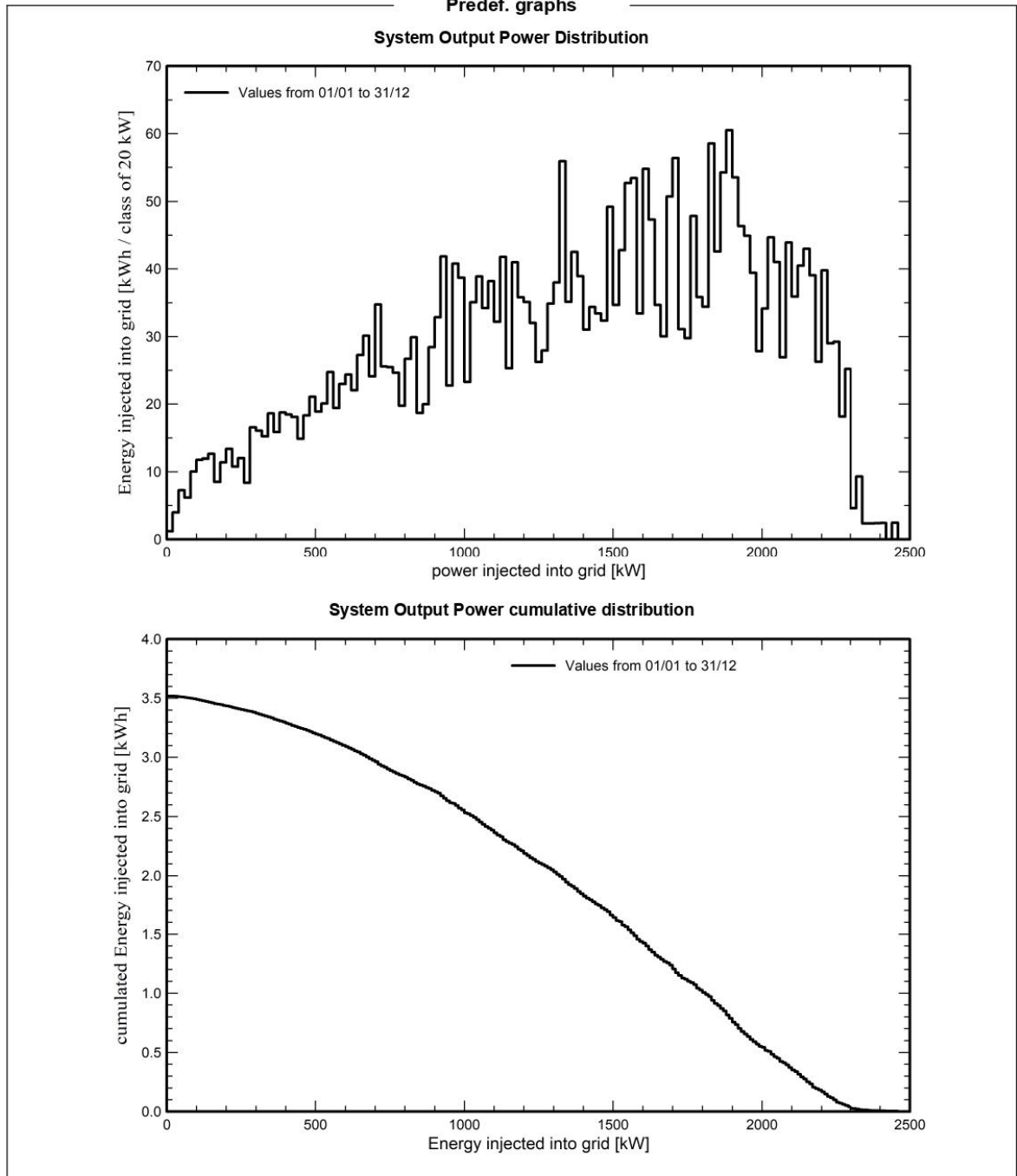


Рисунок 2.21 – Проектування сонячної електростанції в програмі PVsyst

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

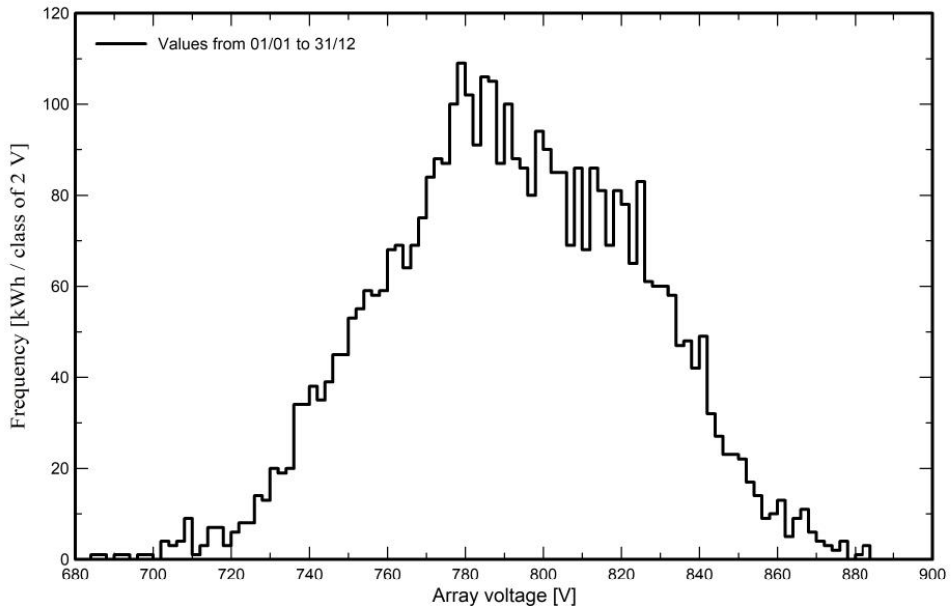


PVsyst V7.3.1

VC0, Simulation date:  
14/05/25 16:56  
with v7.3.1

Predef. graphs

Array Voltage Distribution



Array Temperature Distribution during running

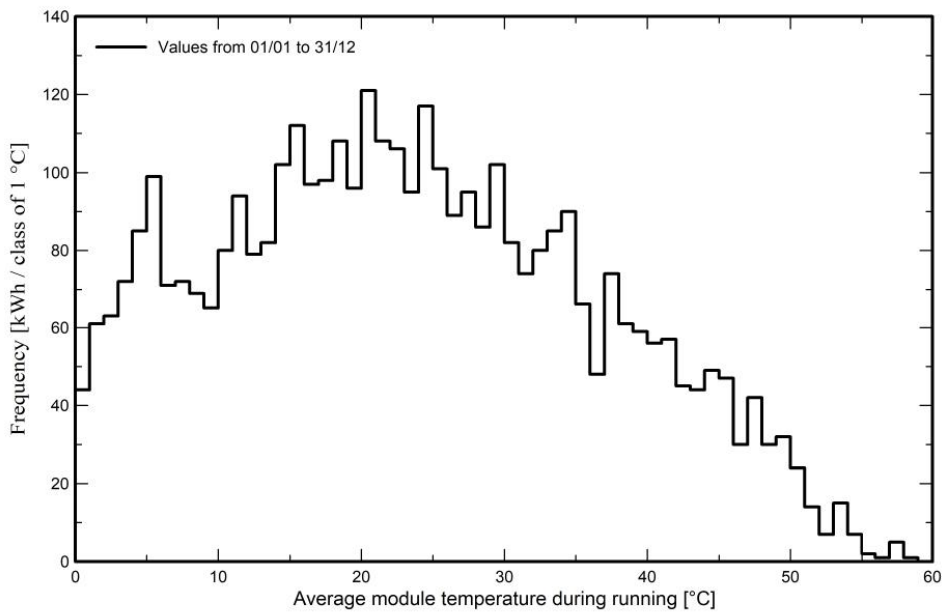


Рисунок 2.22 – Проектування сонячної електростанції в програмі PVsyst

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

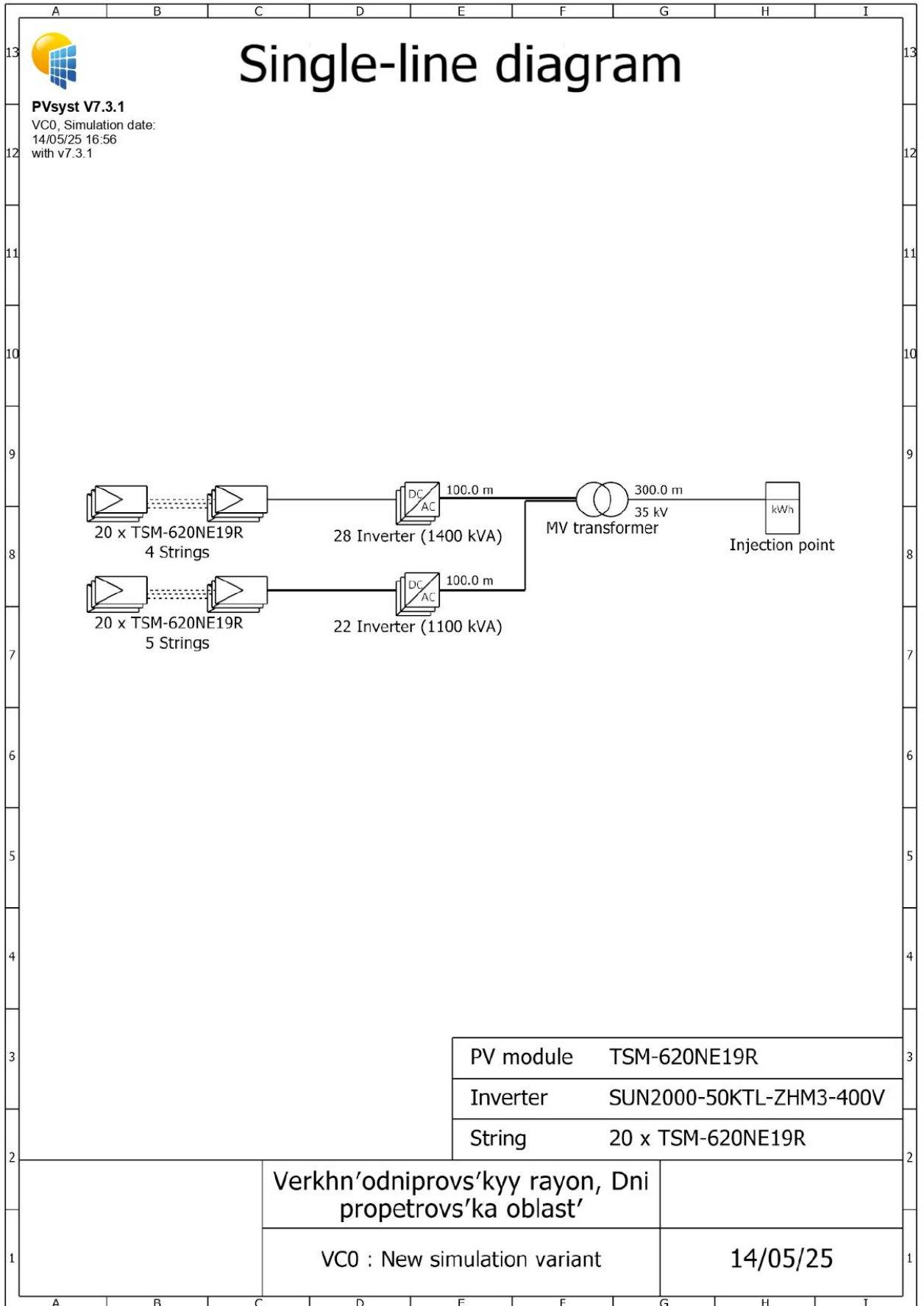


Рисунок 2.23 – Проектування сонячної електростанції в програмі PVsyst

### 3. ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ ТА РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ

#### 3.1 Розрахунок кабельної лінії електропередач

Кабель з ізоляцією із зшитого поліетилену для мереж 10 кВ перевіряється за наступними показниками:

1. За допустимим тривалим струмом навантаження.
2. За допустимим струмом короткого замикання по жилі кабелю.
3. За допустимим струмом короткого замикання по екрану кабелю.
4. За падінням напруги в кінці КЛ.
5. Розрахунок вибору способу заземлення екрану кабелю.

Вихідні данні представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані

№ Варіанту	Напруга мережі, кВ	Максимальний струм 3-ф КЗ, кА	Повний час тривалості короткого замикання, с	Максимальна розрахункова потужність, кВт	Довжина кабельної лінії, км
2	10	1,83	0,5	2500	1

Розрахунок за тривалим струмом навантаження.

Розрахунковий робочий струм КЛ в амперах у режимі номінального навантаження, розраховується за формулою:

$$I_0 = \frac{P_{max.c}}{\sqrt{3} \cdot U_g \cdot \cos \varphi} \quad (3.1)$$

де  $P_{max.c}$  - максимальна розрахункова потужність кВт;

$U_g$  - напруга мережі, кВ;

$\cos \varphi$  - кут зсуву фаз між напругою та струмом.

Зведемо результати розрахунку по формулі (3.1) в таблицю 3.2.

Розрахунок виконується згідно СОУ-Н МЕВ 40.1-37471933-49-2011 (редакція 2017 року) "Проектування кабельних ліній напругою до 330 кВ"

										Лист
										66
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ					

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку струму КЛ та підбору перетину жили кабелю

№ КЛ	P <sub>max.c</sub> , кВ	U <sub>g</sub> , кВ	cosφ	I <sub>0</sub> , А	S, мм <sup>2</sup>	I <sub>c</sub> , А
2	2500	10	0,99	145	50	152

Для кабелів, прокладених у землі за схемою «у трикутник» тривалий допустимий струм у амперах у заданих умовах прокладання кабелю розраховуємо за значень коригувальних коефіцієнтів за формулою:

$$I_{cg} = I_c \cdot k_2 \cdot k_{33} \cdot k_4 \cdot k_5, \quad (3.2)$$

Результати розрахунку по формулі (3.2) зводимо в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку тривалого допустимого струму КЛ при прокладенні у землі за схемою в трикутник

№ КЛ	I <sub>c</sub> , А	k <sub>2</sub>	k <sub>33</sub>	k <sub>4</sub>	k <sub>5</sub>	I <sub>0</sub> , А	I <sub>cg</sub> , А	Виконання умови
1	152	0,98	1	1,16	1	145	172,8	виконується

Для кабелів, прокладених у землі в окремих трубах за схемою «у трикутник» тривалий допустимий струм у амперах у заданих умовах прокладання кабелю розраховуємо за формулою:

$$I_{cg} = I_c \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_{33} \cdot k_4 \cdot k_5, \quad (3.3)$$

Результати розрахунку по формулі (3.3) зводимо в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку тривалого допустимого струму КЛ при прокладенні в окремих трубах за схемою в трикутник

№ КЛ	I <sub>c</sub> , А	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>33</sub>	k <sub>4</sub>	k <sub>5</sub>	I <sub>0</sub> , А	I <sub>cg</sub> , А	Виконання умови
1	144	0,919	0,98	1	1,12	1	145	145,3	виконується

Для кабелів, прокладених у повітрі (на драбинах) тривалий допустимий струм у амперах у заданих умовах прокладання кабелю розраховуємо за значень коригувальних коефіцієнтів за формулою:

$$I_{cg} = I_c \cdot k_{зп} \cdot k_7. \quad (3.4)$$

Результати розрахунку по формулі (3.4) зводимо в таблицю 3.5. Таблиця 3.5  
Таблиця 3.5 – Результати розрахунку тривалого допустимого струму КЛ при прокладенні у повітрі (на драбинах)

№ КЛ	$I_c, A$	$k_{зп}$	$k_7$	$I_0, A$	$I_{cg}, A$	Виконання умови
1	189	1,08	1	145	204,1	виконується

За допустимим тривалим струмом навантаження кабель перевірку проходить. Розрахунок за допустимим струмом короткого замикання по жилі кабелю. Перевірка відповідності обраного перетину жили КЛ, струму 3-ф КЗ на шинах живлячої ПС здійснюється за наступною умовою:

$$I_{sc}^{(3)} < I_{csc}, \quad (3.5)$$

де  $I_{sc}^{(3)}$  - 3-ф струм КЗ на шинах живлячої ПС, кА;

$I_{csc}$  - допустимий струм короткого замикання по жилі кабелю з урахуванням часу спрацювання захисту, кА, розраховується за формулою:

$$I_{csc} = \frac{I_{tsc}}{\sqrt{t}}, \quad (3.6)$$

де  $I_{tsc}$  - допустимий струм короткого замикання по жилі кабелю, кА (табличне значення);  $t$  - час спрацювання захисту, с. Результати розрахунку по формулі (3.6) зводимо в таблицю 3.6.

Таблиця 3.6 – Результати розрахунку допустимого струму короткого замикання по жилі кабелю

№ КЛ	$I_{tsc}$ , кА	t, с	$I_{csc}$ , кА	$I_{sc}^{(3)}$ , кА	Виконання умови
1	4,7	0,5	6,65	1,83	виконується

Розрахунок за допустимим струмом короткого замикання по екрану кабелю. Перевірка відповідності обраного перетину екрану КЛ, струму 2-ф КЗ на шинах живлячої ПС здійснюється за наступною умовою:

$$I_{sc}^{(2)} < I_{ssc} \quad (3.7)$$

де  $I_{ssc}$  - допустимий струм короткого замикання по екрану кабелю з урахуванням часу спрацювання захисту, кА, розраховується за формулою:

$$I_{ssc} = \frac{I_{tsc}}{\sqrt{t}}, \quad (3.8)$$

де t - час спрацювання захисту, с;

$I_{tsc}$  - допустимий струм короткого замикання по екрану кабелю, кА (табличне значення);

$I_{sc}^{(2)}$  - 2-ф струм КЗ на шинах живлячої ПС, кА, розраховується за формулою:

$$I_{sc}^{(2)} = I_{sc}^{(3)} \cdot 0.87. \quad (3.9)$$

Результати розрахунку по формулі (3.9) зводимо в таблицю 3.7.

Таблиця 3.7 – Результати розрахунку допустимого струму короткого замикання по екрану кабелю та вибору його перетину

№ КЛ	Перетин екрану, мм <sup>2</sup>	$I_{tsc}$ , кА	t, с	$I_{ssc}$ , кА	$I_{sc}^{(2)}$ , кА	Виконання умови
1	16	3,3	0,5	4,67	1,592	виконується

Розрахунок за падінням напруги в кінці КЛ.

Розрахунок падіння напруги проводиться для підтвердження відповідності обраного перетину провідника допустимим значенням падіння напруги від джерела живлення до споживача в максимальному режимі лінії та у відповідності до ДСТУ 13109-97, ДСТУ EN 50160:2014.

Граничне падіння напруги в максимальному режимі розраховується за формулою:

$$\Delta U\% = \frac{10^5 \cdot P \cdot L \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{U_g^2}, \quad (3.10)$$

де  $P$  - максимальна розрахункова потужність, кВт;

$L$  - довжина лінії, км;

$r_0$  - активна складова опору лінії, Ом/км;

$x_0$  - індуктивна складова опору лінії, Ом/км;

$U_g$  - напруга мережі, В.

Занесемо в таблицю 3.8 результати розрахунків за формулою (3.10)

Таблиця 3.8 – Результати розрахунку падіння напруги в кінці КЛ

№ КЛ	$U_g$ , В	$L$ , км	$r_0$ , Ом/км	$x_0$ , Ом/км	$\Delta U$ , В	$\Delta U$ , %
1	10000	1	0,82	0,14	207,9	2,01

Розрахунок вибору способу заземлення екрану кабелю. Для унеможливлення значних втрат електроенергії в струмопровідних екранах кабелів під час експлуатації КЛ в якості способу заземлення екрану кабелю обрано заземлення екрану з одного кінця КЛ.

Розрахунок проводиться для таких режимів роботи КЛ:

- нормального (трифазного);
- зовнішнього КЗ із найбільшим струмом;
- ремонтного (за наявності паралельно прокладених КЛ або кіл тієї ж самої КЛ).

Наведена напруга на незаземленому кінці екрану не повинна перевищувати допустимого діючого значення напруги змінного струму, що становить 70% значення випробувальної напруги постійного струму для оболонки кабелю.

У разі нормального трифазного режиму роботи КЛ, наведена напруга на незаземленому кінці екрану визначається за формулою:

$$U_1^{(3)} = I_0 \cdot L \cdot X_{m1}, \quad (3.11)$$

де  $X_{m1}$  - погонний індуктивний опір екрану кабелю, Ом/км, розраховується за формулою:

$$X_{m1} = 0,0628 \cdot \gamma_1, \quad (3.12)$$

де  $\gamma_1$  - безрозмірний параметр впливу конфігурації взаємного розташування жил і екранів кабелів у просторі, який розраховується за формулою:

$$\gamma_1 = 0,5 \cdot \ln \left( \beta^2 \cdot \sqrt{\left( 1 + \left( \sqrt{\sqrt{3} + \frac{1}{\beta}} \right)^2 \right) \cdot \left( 1 + \frac{1}{\beta^2} \right)} \right), \quad (3.13)$$

де  $\beta$  - безрозмірний параметр, який визначається як відношення відстані між центрами жил кабелів до зовнішнього діаметру. У разі зовнішнього КЗ із найбільшим струмом, наведена напруга на незаземленому кінці екрану визначається за формулою:

$$U_2 = I_{sc} \cdot L \cdot X_{m2}, \quad (3.14)$$

де  $X_{m2}$  - погонний індуктивний опір екрану кабелю, Ом/км, розраховується за формулою:

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
						71
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$X_{m2} = 0,0628 \cdot \gamma_2, \quad (3.15)$$

де  $\gamma_2$  - безрозмірний параметр впливу конфігурації взаємного розташування жил і екранів кабелів у просторі, який розраховується за формулою:

$$\gamma_2 = 4,725 + 0,5 \cdot \ln \rho - \ln(0,5 \cdot D), \quad (3.16)$$

де  $\rho$  - питомий електричний опір, який за замовчуванням приймається рівним 1000 Ом·м.

У разі ремонтного - за наявності паралельно прокладених КЛ або кіл тієї ж самої КЛ, наведена напруга на незаземленому кінці екрану не має бути більшою за 24 В, визначається за формулою:

$$U_3 = I_0 \cdot L \cdot X_{m3}, \quad (3.17)$$

де  $X_{m3}$  - погонний індуктивний опір екрану кабелю, Ом/км, розраховується за формулою:

$$X_{m3} = 0,0628 \cdot \gamma_3, \quad (3.18)$$

де  $\gamma_3$  - безрозмірний параметр впливу конфігурації взаємного розташування жил і екранів кабелів у просторі, який розраховується за формулою:

$$\gamma_3 = \ln \left( \frac{0,87 \cdot \beta + \alpha + 0,5}{0,25 \cdot \beta^2 + (0,5 + \alpha)^2} \right), \quad (3.19)$$

де  $\alpha$  - безрозмірний параметр, який визначається як відношення найменшої відстані між двома КЛ до діаметру кабелю.

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		72

Занесемо результати розрахунків в таблицю 3.9. Таблиця 3.9 – Результати розрахунку вибору способу заземлення екрану кабелю

№ КЛ	$I_0, A$	$L, км$	$\gamma_1$	$U_1^{(3)}, В$	$\gamma_2$	$U_2, В$	$\gamma_3$	$U_3, В$	Виконання умови
1	145	1	0,7	5,8	12,5	1,45	0,2	1,89	виконується

Для захисту оболонки кабелю при заземленні з одного кінця оберемо ОПН за розрахунком наведеної напруги на кінці екрану кабелю, з урахуванням тривалості режиму зовнішнього КЗ. ОПН обирають за умовою, що наведена напруга на незаземленому кінці екрану не повинна перевищувати допустимого діючого значення напруги змінного струму, що становить 70% значення випробувальної напруги постійного струму для оболонки кабелю. Захист зовнішньої ізоляційної оболонки кабелю за допомогою ОПН можливий за виконання умов:

$$U_1^{(3)} < U_{1t.v},$$

$$U_2 < U_{1t.v} \cdot T(t_{sc}),$$

де  $U_{1t.v}$  - тривало допустима напруга ОПН, кВ.

$T(t_{sc})$  - кратність напруги (приймаємо 1,8).

Умова виконується, обираємо обмежувач перенапруги на 6 кВ.

### 3.2 Вибір параметрів релейного захисту кабельної лінії

Вихідні дані для розрахунку короткого замикання на СЕС:

1. Однолінійна схема СЕС ( $P=2,5$  МВт).
2. Розрахункова напруга на шинах 10 кВ - 10,5 кВ.
3. Трансформатор ТМГ-1000/10/0,4 кВ ( $\mu_k = 5 \%$ ).
4. Довжина кабельної лінії – 1 км.

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		73

5. Струм трифазного короткого замикання в максимальному режимі на шинах 10 кВ ПС 35/10 кВ - 1,83 кА.

6. В якості провідників для розрахунку струму короткого замикання на шинах проектової СЕС прийнято 3хСП-3-20 1х50 мм<sup>2</sup> та кабель 3хАПвЕгаПу-12/20 1х120/25 мм<sup>2</sup>, прокладка в трикутник. Розрахунок опорів схеми заміщення в максимальному режимі роботи системи.

Опір системи:

$$z_C \approx x_C = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot I_{кз}^{(3)}}, \text{ Ом.} \quad (3.20)$$

Опір повітряно-кабельної лінії.

Активна складова:

$$r_L = r_0 \cdot l_L, \text{ Ом.} \quad (3.21)$$

Реактивна складова:

$$x_L = x_0 \cdot l_L, \text{ Ом.} \quad (3.22)$$

Сумарний опір до розрахункової точки К2:

$$z_{K2} = \sqrt{z_C^2 + (r_L + x_L)^2}. \text{ Ом.} \quad (3.23)$$

Опір трансформатора:

$$z_m \approx x_m = \frac{\mu_k \cdot U_H^2}{100 \cdot S_{НОМ}}, \text{ Ом.} \quad (3.24)$$

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		74

Сумарний опір до розрахункової точки К3:

$$z_{K3} \approx z_{K2} + z_m, \text{ Ом.} \quad (3.25)$$

Занесемо результати розрахунків в таблицю 3.10.

Таблиця 3.10 – Результати розрахунків опорів схеми заміщення в максимальному режимі роботи системи

$z_c, \text{ Ом}$	$r_d, \text{ Ом}$	$x_d, \text{ Ом}$	$z_{K2}, \text{ Ом}$	$z_m, \text{ Ом}$	$z_{K3}, \text{ Ом}$
3,313	0,82	0,148	3,45	5,513	8,963

Розрахунок струмів короткого замикання в розрахункових точках в максимальному режимі роботи системи.

Розрахункова точка К1. Струм КЗ в розрахунковій точці К1 приймаємо рівним струму короткого замикання на шинах 10 кВ ПС 35/10 кВ -  $I_{K1}^{(3)} = 1,83$  кА.

Розрахункова точка К2.

Струм КЗ питомий зі сторони ПС 35/10 кВ в точці К2:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot z_{K2}}. \quad (3.26)$$

Струм КЗ питомий зі сторони СЕС приведений до сторони 10 кВ:

$$I_{KCEC}^{(3)} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (3.27)$$

Сумарний струм КЗ в точці К2:

$$I_{K2}^{(3)} = I_{K2ПC}^{(3)} + I_{KCEC}^{(3)}. \quad (3.28)$$

Розрахункова точка К3. Струм КЗ питомий зі сторони ПС 35/10 кВ в точці

КЗ – на шинах 0,4 кВ СЕС, приведений до сторони 10 кВ:

$$I_{КЗПС}^{(3)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot Z_{КЗ}} \quad (3.29)$$

Сумарний струм КЗ в точці КЗ:

$$I_{КЗ}^{(3)} = I_{КЗПС}^{(3)} + I_{КСЕС}^{(3)} \quad (3.30)$$

Занесемо результати розрахунків в таблицю 3.11 та таблицю 3.12.

Таблиця 3.11 – Результати розрахунків трифазних струмів КЗ в максимальному режимі роботи системи

$I_{К1}^{(3)}$ , кА	$I_{К2ПС}^{(3)}$ , кА	$I_{КСЕС}^{(3)}$ , кА	$I_{К2}^{(3)}$ , кА	$I_{КЗПС}^{(3)}$ , кА	$I_{КЗ}^{(3)}$ , кА
1,83	1,757	0,137	1,894	0,676	0,813

Таблиця 3.12 – Результати розрахунків двофазних струмів КЗ в максимальному режимі роботи системи

$I_{К1}^{(2)}$ , кА	$I_{К2ПС}^{(3)}$ , кА	$I_{КСЕС}^{(3)}$ , кА	$I_{К2}^{(3)}$ , кА	$I_{КЗПС}^{(3)}$ , кА	$I_{КЗ}^{(3)}$ , кА
1,592	1,592	0,119	1,648	0,588	0,708

Розрахунок уставок спрацювання захисту.

Вихідні дані для розрахунку уставок спрацювання захисту:

1. Допустимий робочий струм  $I_{доп} = 46,19$  А.

2. Струми короткого замикання

I ст. СВ (струмова відсічка)

Струм спрацювання захисту обирається за умовами:

-відстроювання від стрибка струму намагнічення трансформатору КТП 1000/10/0,4 У1 при наявності напруги в лінії.

Максимальна величина струму при включенні може скласти

$$I_{БТН} = (3 \dots 5) \cdot I_{ном.тр.}$$

Приймаємо коефіцієнт відстроювання захисту  $k_{від} = 1,2$

										Лист
										76
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ					

Номинальний струм трансформатору:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} \quad (3.31)$$

Струм спрацювання захисту:

$$I_{\text{с.з.}} = I_{\text{від}} \cdot I_{\text{БТН}} \cdot I_{\text{НОМ}} \quad (3.32)$$

Занесемо результати розрахунків в таблицю 3.13.

Таблиця 3.13 – Результати розрахунку відстроювання від струму намагнічування трансформатору

$I_{\text{НОМ}}, \text{A}$	$I_{\text{с.з. min}}, \text{A}$	$I_{\text{с.з. max}}, \text{A}$	$I_{\text{с.з.}}, \text{A}$ Для відстроювання
54,99	198	329,9	330

- відстроювання від струму трифазного КЗ на шинах 0,4 кВ КТП 1000/10/0,4 У1, приведеного до напруги 10,5 кВ.

Струм спрацювання захисту:

$$I_{\text{с.з.}} = I_{\text{від}} \cdot I_{\text{КЗ}}^{(3)} \quad (3.33)$$

Струм уставки:

$$I_{\text{у}} = \frac{k_{\text{сх}} \cdot I_{\text{с.з.}}}{k_{\text{ТА}}} \quad (3.34)$$

Коефіцієнт чутливості при двофазному КЗ на шинах 10 кВ КТП 1000/10/0,4 У1:

$$k_{\text{ч}} = \frac{k_{\text{сх}} \cdot I_{\text{КЗ}}^{(3)}}{I_{\text{с.з.}}} \quad (3.35)$$

Занесемо результати розрахунків в таблицю 3.14.

Таблиця 3.14 – Результати розрахунку відстроювання від струму трифазного КЗ на шинах 0,4 кВ, приведенного до напруги 10,5 кВ

$I_{\text{с.з.}}, \text{A}$	$I_{\text{у}}, \text{A}$	$k_{\text{ч}}$
975,6	32,52	1,938

У відповідності п. 3.2.26 ПУЕ-2017 найменші коефіцієнти для резервних захистів у разі КЗ у кінці суміжного елемента або найбільш віддаленого з декількох послідовних елементів, які входять до зони резервування мають бути близькими до 1,2.

Умова забезпечення чутливості захисту виконується. Витримку часу спрацювання першого ступеню захисту ВС для забезпечення швидкого відключення приймаємо рівній мінімально можливому значенню – менше 0,1 с.

II ст. МСЗ (максимальний струмовий захист)

Струм спрацювання захисту:

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{k_{\text{н}} \cdot k_{\text{від}} \cdot I_{\text{доп}}}{k_{\text{н}}} \quad (3.36)$$

де  $k_{\text{н}}$  - коефіцієнт надійності (1,1);

від  $k_{\text{від}}$  - коефіцієнт відстроювання захисту (1,2);

$k_{\text{н}}$  - коефіцієнт повернення (0,95).

Струм уставки:

$$I_{\text{у}} = \frac{k_{\text{сх}} \cdot I_{\text{с.з.}}}{k_{\text{ТА}}} \quad (3.37)$$

Коефіцієнт чутливості при двофазному КЗ на шинах 10 кВ КТП 1000/10/0,4 У1:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ}}^{(3)}}{I_{\text{с.з.}}} \quad (3.38)$$

Занесемо результати розрахунків в таблицю 3.15.

Таблиця 3.15 – Результати розрахунку відстроювання від струму трифазного КЗ на шинах 0,4 кВ, приведенного до напруги 10,5 кВ

$I_{\text{с.з.}}, \text{A}$	$I_{\text{у}}, \text{A}$	$I_{\text{с.з.}}, \text{A}$	$k_{\text{ч}}$
76,41	7,64	80	8,85

Умова забезпечення чутливості захисту виконується.

Витримку часу спрацьовування максимального струмового захисту приймаємо рівній значенню 0,5 с. Занесемо результати розрахунків уставки в таблицю 3.16.

Таблиця 3.16 – Результати розрахунків уставки

Назва	Величина
Уставка СВ1, А	330
Витримка часу СВ1, с	<0,1
Уставка МЗС2, А	80
Витримка часу МЗС2, с	0,5
Уставка ЗНЗ, А	3
Витримка часу ЗНЗ на подачу сигналу, с	9

Розрахунок ємнісних струмів.

Ємнісний погонний струм замикання на землю в місці пошкодження:

$$I_{\text{с}} = 3 \cdot \omega \cdot C_{\text{ф}} \cdot U_{\text{ф}} \cdot 10^{-6}, \quad (3.39)$$

де  $\omega$  - кутова швидкість вектору напруги, с;

$C_{\text{ф}}$  - ємність фази мережі, мкФ;

$U_{\text{ф}}$  - фазна напруга мережі, В.

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		79

Ємнісний струм замикання на землю в місці пошкодження для розглядуваної кабельної лінії:

$$I_{СКЛ} = I_C \cdot l_{КЛ} \quad (3.40)$$

Результати розрахунку по формулам (3.39)-(3.40) зводимо в таблицю 3.17.

Таблиця 3.17 – Результати розрахунку ємнісних струмів

$C_{фКЛ,мкФ}$	$\omega, c^{-1}$	$U_{ф}, В$	$I_C, А/км$	$I_{СКЛ}, А$
0,229	314	6062,18	1,308	1,308

У відповідності з ГКД 34.20.172-95 «Типова інструкція по компенсації ємнісного струму замикання на землю в електричних мережах 6-35 кВ» компенсація повинна застосовуватись в кабельних мережах 10 кВ при значеннях ємнісного струму більше 20 А. Оскільки сумарний ємнісний струм замикання на землю мереж 10 кВ СЕС не перевищує даного значення, встановлення пристроїв компенсації ємнісних струмів не передбачається.

Функціонування інверторного обладнання.

Контролер виконує наступні функції автоматики та захисту (згідно керівництва по експлуатації):

- моніторинг параметрів вхідної напруги постійного струму та вихідної напруги змінного струму;
- контроль технологічних параметрів інвертора;
- контроль реактивної потужності;
- контроль активної потужності;
- інтерфейс заземлення;
- відхилення напруги/частоти;
- максимальний струмовий захист;
- захист від min/max частоти;
- захист від перенапруги (при перевищенні напруги змінного струму (значення встановленої уставки) інверторне обладнання блокує видачу

потужності в мережу. Уставку спрацювання захисту від підвищення напруги обираємо виходячи з умови недопущення підвищення напруги більш ніж на 10%;

-відключення від електророзподільної мережі протягом 2 с в разі

переривання напруги в електророзподільній мережі;

- після відключення в результаті відхилення від норми параметрів

електророзподільної мережі фотоелектрична система не повинна бути повторно підключена до мережі протягом інтервалу часу від 20 с до 5 хв з моменту відновлення нормальних значень напруги і частоти.

Контролер інверторного обладнання виконує функції синхронізації з мережею, контроль параметрів якості напруги, релейного захисту при нормальних, аварійних та післяаварійних режимах роботи. В нормальному режимі інверторне обладнання вмикається в роботу автоматично за наявності відповідної інтенсивності освітлення та наявності напруги в мережі, синхронізуючись з її параметрами. При аварійних ситуаціях і зниженні напруги в мережі інверторне обладнання відключається.

Таким чином, встановлене на СЕС інверторне обладнання запобігає несинхронному включенню в мережу.

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		81

## 4. ПОБУТОВІ НАКОПИЧУВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

### 4.1 Типи накопичувачів

#### Свинцево-кислотні акумулятори

Найрозповсюдженіші в автомобільному світі. Використовують свинець і діоксид свинцю як електроди і сірчану кислоту як електроліт. Хоча вони недорогі і можуть видавати велику потужність, вони важкі і містять небезпечні матеріали.

Як це працює? Під час розряду свинець на аноді окислюється, реагуючи з сірчаною кислотою, утворюючи сульфат свинцю, вивільняючи електрони. На катоді діоксид свинцю відновлюється, реагуючи з сірчаною кислотою і споживаючи електрони, також утворюючи сульфат свинцю.

Плюси: Висока щільність потужності, низька вартість, тривалий термін служби.

Мінуси: відносно важкий, низька щільність енергії, екологічні проблеми через вміст свинцю.

Застосування: автомобілі, системи резервного живлення, промислове обладнання.



Рисунок 4.1 – Свинцевий акумулятор від Bosch

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		82

## Літій-іонні (Li-ion) акумулятори

Це чемпіони портативної електроніки. Вони використовують літєву сполуку як матеріал катода і графіт (зазвичай) як матеріал анода, а літєва сіль, розчинена в органічному розчиннику, служить електролітом. Літій-іонні акумулятори відомі своєю високою щільністю енергії, малою вагою і відносно довгим терміном служби.

Як це працює? Іони літію переміщуються від анода до катода під час розряду і назад під час зарядки. Конкретні матеріали, що використовуються для анода і катода, різняться, що призводить до різних типів літій-іонних акумуляторів (наприклад, LCO, LFP, NMC, NCA), кожен з яких має свої власні характеристики.

Плюси: Висока щільність енергії, легка вага, тривалий термін служби, швидка зарядка.

Мінуси: може бути дорогим, становити потенційну загрозу безпеці (ризик загоряння), схильний до деградації з плином часу.

Галузі застосування: смартфони, ноутбуки, електромобілі, електроінструменти.

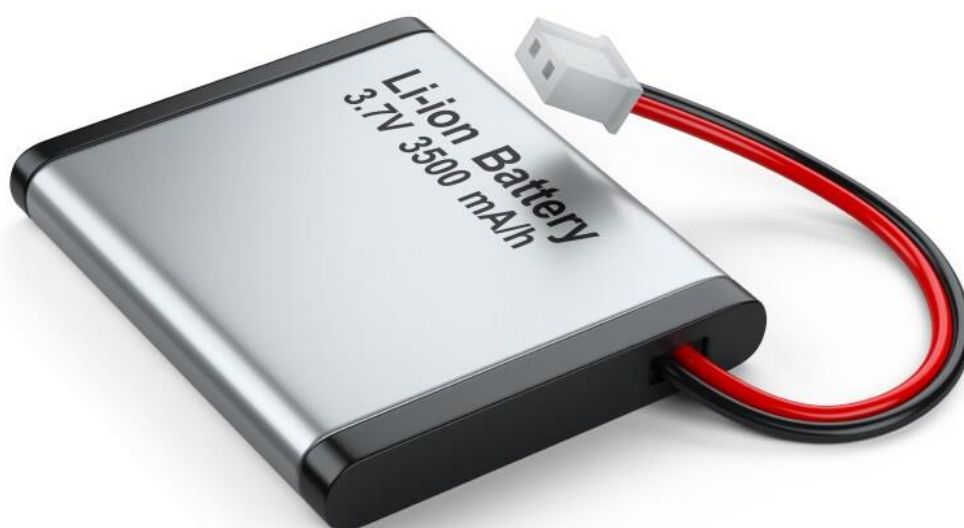


Рисунок 4.2 – Літій-іонний акумулятор

						02.15.EC2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата			83

### Літій-полімерні (Li-Po) акумулятори

Різновид літій-іонних акумуляторів, Li-Po, використовує полімерний електроліт замість рідкого. Це дає змогу створювати більш гнучкі форми і трохи вищу щільність енергії.

Як це працює? Li-Po акумулятори - це тип літій-іонних акумуляторів, у яких рідкий електроліт замінений полімерним електролітом, що забезпечує переваги з погляду гнучкості.

Плюси: легший, гнучкіший, має вищу щільність енергії, ніж стандартний літій-іонний акумулятор.

Мінуси: може бути дорожчим, можливі проблеми з безпекою.

Галузі застосування: дрони, моделі літаків, деякі смартфони.

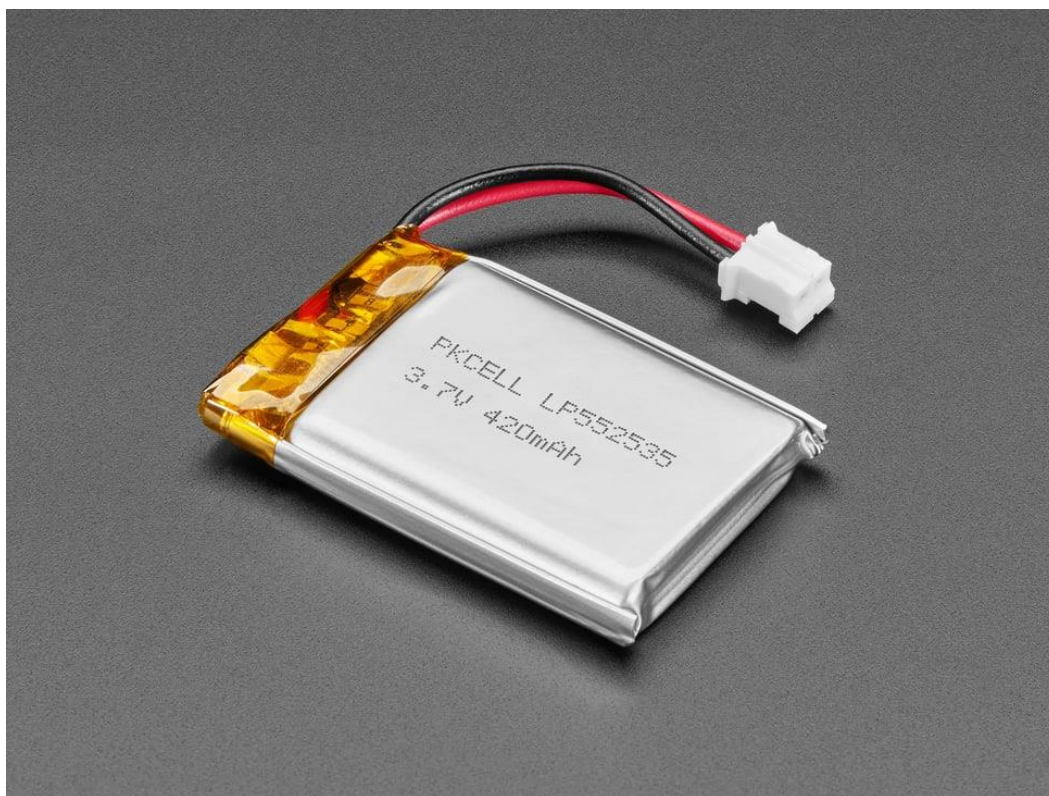


Рисунок 4.3 – Літій-полімерний акумулятор

## Нікель-металогідридні (Ni-MH) акумулятори

Ці батареї є кроком вперед порівняно зі старими нікель-кадмієвими (NiCd) батареями. Вони використовують катод з гідроксиду нікелю і сплав, що поглинає водень, як анод. Ni-MH батареї забезпечують більш високу щільність енергії, ніж NiCd, і більш екологічні.

Як це працює: Під час розряду металогідридний анод окислюється, утворюючи гідроксид металу і вивільняючи електрони. На катоді оксигідроксид нікелю відновлюється до гідроксиду нікелю, приймаючи електрони.

Плюси: Висока щільність енергії, низький ефект пам'яті.

Мінуси: нижча щільність енергії, ніж у літій-іонних акумуляторів, можуть бути дорожчими, ніж нікель-кадмієві.

Галузі застосування: гібридні автомобілі, бездротові електроінструменти.



Рисунок 4.4 – Нікель-металогідридний акумулятор

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		85

### Первинні батареї (одноразові)

Ці батареї засновані на незворотних хімічних реакціях. Після того, як реагенти витрачені, батарея вважається розрядженою і не може бути перезаряджена.

Лужні батареї, найпоширеніший тип, використовують цинк і діоксид марганцю як електроди та гідроксид калію як електроліт.

Плюси: Зручність, доступність, прийнятна ціна для багатьох сфер застосування.

Мінуси: неможливо перезарядити, вплив на навколишнє середовище через утилізацію.

Галузі застосування: побутова електроніка (пульти дистанційного керування, іграшки), побутова техніка.



Рисунок 4.5 – Одноразові батарейки

## 4.2 Перспективні напрямки розвитку накопичувачів

Твердотільні батареї.

Твердотільна батарея перетворює хімічну енергію на електричну, використовуючи твердий електроліт для переміщення іонів літію від одного електрода до іншого. Тверді електроліти – це, як правило, композитні сполуки. Твердотільні батареї відрізняються від літій-іонних батарей, які є найпоширенішим типом батарей, що перезаряджаються, і використовують рідкі або гелеві електроліти. Порівняно з літій-іонними батареями твердотільні батареї мають різні переваги, включно з більшою довговічністю, більшою енергоємністю, вищою швидкістю заряджання, тривалішим терміном служби та більшою варіативністю форми.

Як твердотільні, так і літій-іонні батареї складаються з катода – тобто позитивного полюса, що зроблений із катодного матеріалу (наприклад, фосфату літію-заліза), - та анода - тобто негативного полюса, що зроблений із анодного матеріалу (наприклад, вуглецю). Полюси розділені електролітом, середовищем, через яке рухаються іони.

Коли електрони рухаються від катода до анода, хімічна потенційна енергія батареї збільшується, даючи заряд батареї. Коли електрони рухаються в іншому напрямку, хімічна потенційна енергія перетворюється на електрику, яка розряджається з батареї.

Між твердотільними та літій-іонними акумуляторами є дві основні відмінності. По-перше, твердотільні акумулятори використовують твердий (а не рідкий або гелевий) електроліт. По-друге, оскільки літій-іонні акумулятори використовують рідкі або гелеві електроліти, їм потрібен сепаратор між катодом і анодом, щоб запобігти змішуванню електроліту з одного боку акумулятора з електролітом з іншого. У твердотільних акумуляторах сам електроліт розділяє два полюси.

Твердотільні батареї мають певні переваги порівняно з літій-іонними батареями. Неорганічні тверді електроліти навряд чи загоряться. Тому твердотільні батареї безпечніше використовувати у високотемпературних

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		87

середовищах порівняно з літій-іонними батареями. Вони також більш стійкі до низьких температур.

Підвищена щільність дає змогу твердотілим батареям зберігати більше енергії. Твердотільна батарея може жити пристрій протягом більш тривалого періоду часу, ніж літій-іонна батарея того ж розміру. Ще одним корисним аспектом твердотільних батарей є їхня здатність вироблятися в різних формах. Типові літій-іонні батареї повинні бути зроблені таким чином, щоб запобігти витоку рідини, тоді як твердотільні батареї, в яких витік не є проблемою, можуть бути зроблені меншими або тоншими і навіть вигнутими.

Крім того, неорганічні тверді електроліти зношуються повільніше, ніж їхні літій-іонні аналоги. Літій-іонні акумулятори мають обмежену кількість циклів заряджання, перш ніж стануть непридатними для використання. З іншого боку, твердотільні акумулятори можна перезаряджати набагато більше циклів заряджання і зберігати свою ємність набагато довше, ніж їхні літій-іонні аналоги. Крім забезпечення кращого обслуговування, твердотільні акумулятори завдають меншу шкоду на навколишнє середовище, ніж літій-іонні акумулятори. Твердотільний акумулятор зберігає більше енергії з меншою кількістю матеріалу і має більш тривалий термін служби, ніж літій-іонний акумулятор.

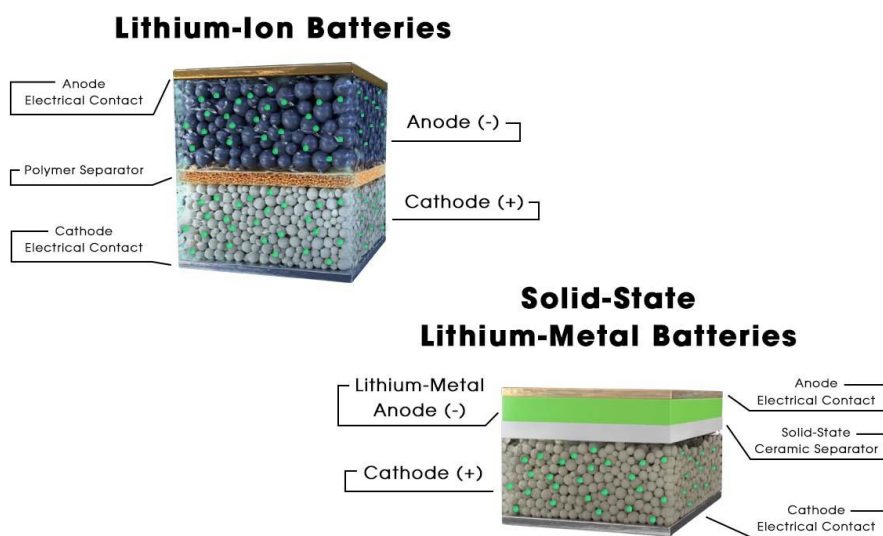


Рисунок 4.6 – Будова твердотільних і літій-іонних батарей.

## Натрій-іонні акумулятори

Як і літій, натрій - лужний метал, що входить до першої групи періодичної таблиці.

Ці два метали розташовані один під одним у першому стовпчику періодичної таблиці, що означає, що вони мають низку спільних фізичних і хімічних властивостей.

Ці схожі властивості спонукали дослідників провести перші дослідження натрієвих батарей між 1970 і 1990 роками, приблизно в той самий час, що і дослідження літієвих батарей. Останні, однак, зрештою мали більший успіх і були комерціалізовані, відсунувши натрієву батарею на задній план.

Недоліки натрієвих батарей порівняно з літієвими:

Між цими двома елементами є суттєві відмінності з суто хімічної точки зору. Атомний радіус катіона натрію на 0,3 А більший, ніж у літій. Це означає, що його атомна вага і маса більш ніж у 3 рази більші, ніж у літій.

Це саме по собі тягне за собою істотні технічні проблеми, які потребують вирішення: під час руху між анодом і катодом маса атома натрію, що в 3 рази перевищує масу літію, створює більшу механічну напругу, що призводить до значного зносу елемента.

У результаті натрієві батареї мають короткий термін служби і не працюють так само добре, як літієві батареї, оскільки графіт, який є анодним матеріалом, що найчастіше використовується в літієвих батареях, зазнає незворотних реакцій розшарування при взаємодії з іоном натрію та саморуйнується після кількох життєвих циклів.

Натрієві батареї знову привертають увагу, головним чином, тому, що існує потреба в конкретних альтернативах літію в додатках, де частина виробництва може бути диференційована.

Хоча літій у природі присутній у багатьох породах, його кількість у земній корі не є невичерпною.

Високий попит на цю сировину в поєднанні з її обмеженою доступністю в природі підняли її ціну до небес, заслуживши їй назву «біле золото». У

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		89

майбутньому, попит на літєві батареї, безсумнівно, буде зростати. Тому піднімається питання про доступність сировини.

Одним із найцікавіших аспектів цієї технології є широка доступність у природі її складових сировинних матеріалів. Натрій, по суті, є шостим за поширеністю елементом у земній корі. Ця особливість робить натрієві батареї економічно конкурентоспроможними, що є важливим аспектом для виробників.

Натрієві батареї також забезпечують високі стандарти безпеки, оскільки комірки на основі цього хімічного елемента не спалахують і не схильні до вибухів або коротких замикань. Ці батареї можуть витримувати екстремально високі та низькі температури, маючи змогу працювати в діапазоні від  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , тоді як оптимальний діапазон робочих температур для літєвих батарей становить від  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Сировина легкодоступна в природі і може бути видобута з низькими витратами і низьким споживанням енергії, що чинить низький негативний вплив на навколишнє середовище.

За прогнозами, очікується, що ринок натрій-іонних акумуляторів зростатиме темпами 27% на рік протягом наступного десятиліття. Річне виробництво, імовірно, збільшиться з 10 ГВт-год у 2025 році до приблизно 70 ГВт-год у 2033 році, збільшившись майже на 600%.

Натрій-іонна технологія може набути ще більшого поширення завдяки тому, що для виробництва натрієвих і літєвих елементів використовують переважно одні й ті самі технології, що дає змогу перепрофілювати виробничі лінії та зробити їх ще більш рентабельними.

Хоча натрій-іонні акумулятори все ще мають деякі невирішені проблеми, інтерес до цих акумуляторів у світі електрифікації зростає настільки, що великі міжнародні гравці в галузі виробництва акумуляторів звертають свою увагу на цю технологію.

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		90

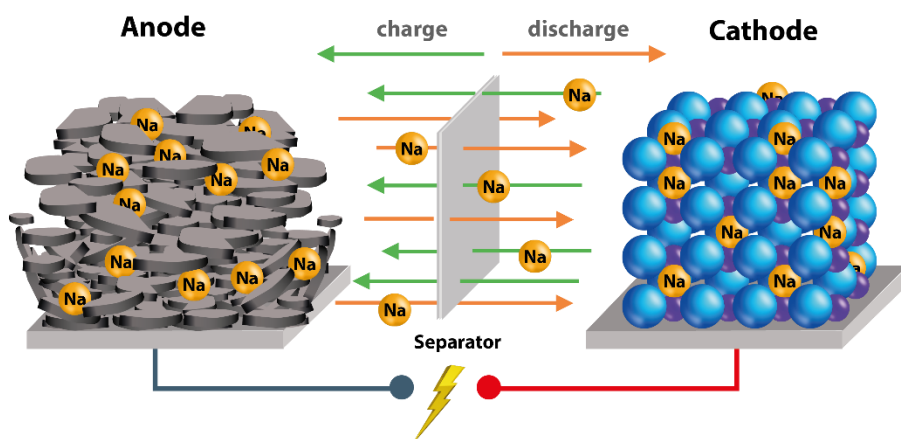


Рисунок 4.7 – Принцип дії натрій-іонних акумуляторів

### Біобатареї

Біобатареї - це пристрої для зберігання енергії, які використовують біологічні процеси для генерації електроенергії. На відміну від звичайних батарей, які покладаються на хімічні реакції за участю металів і синтетичних матеріалів, біобатареї використовують метаболічну активність мікроорганізмів, які перетворюють поживні речовини на енергію, вивільняючи електрони, які можуть бути захоплені для виробництва електричного струму.

Існують два основні типи біобатарей: ферментативні біобатареї та мікробні паливні елементи. І ферменти, і мікроорганізми розщеплюють органічні сполуки, такі як глюкоза, вивільняючи електрони.

Переваги біобатарей включають їхню біорозкладність і використання поновлюваних ресурсів. Але такі проблеми, як обмежена вихідна потужність і стабільність, історично обмежували їхнє широке застосування.

Однією з перспективних галузей застосування біобатарей є моніторинг довкілля, де біорозкладні батареї можуть жити датчики, що вимірюють температуру, вологість або склад ґрунту. Дані можуть збиратися за допомогою бездротової передачі, реєстрації даних або зв'язку на короткі відстані. Після завершення своєї функції ці батареї будуть природним чином розкладатися,

усуваючи необхідність у витяганні та утилізації.

У сільськогосподарських умовах такі батареї можуть використовуватися для моніторингу стану посівів, надаючи фермерам дані в режимі реального часу, не збільшуючи електронні відходи. Саморозкладна природа батареї гарантує, що вона не залишає шкідливих залишків у ґрунті.

Грибкові батареї можуть знайти застосування в медичній діагностиці, де вони могли б жити біорозкладні датчики або пристрої, що працюють в організмі людини протягом обмеженого часу, перш ніж безпечно розкладуться.

Приклад розробленої біобатареї.

Професор Сокхин Чой з Університету Бінгемтона розробив самопідтримувану біобатарею, здатну довго забезпечувати енергією мініатюрні сенсори в екстремальних і важкодоступних умовах. Пристрій використовує три штами природних бактерій: ті, що фотосинтезують, виробляють енергію і переробляють відходи, створюючи замкнутий біоцикл. Така батарея виробляє від 10 до 100 мкВт і може працювати автономно без зовнішнього живлення. На даний момент вона демонструє рекордний термін служби - 22 дні безперервної роботи, що значно перевершує попередні бактеріальні джерела енергії, які функціонували лише кілька годин. Завдяки компактності та модульності батареї можна з'єднувати для збільшення потужності, а вбудовані мікросистеми підтримують оптимальні умови для бактерій. Розробка відкриває перспективи автономних сенсорів для використання в екологічному моніторингу, військовій сфері та інших віддалених додатках.

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		92



Рисунок 4.8 – Біобатарея професора Сокхвин Чхве

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

У роботі виконано розрахунок навантажень на систему тягового електропостачання, вибір контактної мережі, проведено механічний розрахунок контактної підвіски, розрахунок струмів короткого замикання та вибір основного обладнання тягової підстанції, виконано проєктування сонячної електростанції, розрахунок кабельної лінії електропостачання та вибір параметрів релейного захисту кабельної лінії.

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		94

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бондар, І. Л. Електричні системи та мережі нетягових споживачів залізничного транспорту : Навч. посібник для вузів [Текст] / І. Л. Бондар, О. І. Бондар, В. Г. Сиченко. — Д.: Маковецький, 2009. — 184 с
2. Сиченко, В. Г. Електропостачання залізниць : Метод. вказ. до вик. курс. проекту "Розрахунок системи тягового електропостачання" [Текст] / В. Г. Сиченко, Д. О. Босий. — Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2008. — 43 с
3. Сиченко, В. Г. Електропостачання залізниць : Метод. вказівки до вик. контр. роботи "Розрахунок несиметрії напруги тягової підстанції змінного струму". Для студ. спец. "Електротехнічні системи електроспоживання безвідривної форми навч." [Текст] / В.Г. Сиченко, О. Ю. Воробей, Д. О. Босий. - Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2009. - 17 с
4. Електропостачання залізниць [Текст]: методичні вказівки до лабораторних робіт / уклад.: В.Г. Сиченко, Д.О. Босий, Є.М. Косарев; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2014. – 50 с
5. Сиченко, В. Г. Електроживлення систем залізничної автоматики : Монографія [Текст] / В. Г. Сиченко, В. І. Гаврилюк. — Д. : Маковецький, 2009. — 372 с.
6. Панченко С. В. Релейний захист і автоматика: Навч. посібник / С. В. Панченко, В. С. Блиндюк, В. М. Баженов та ін.; за ред. В. М. Баженова. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – Ч. 1. – 250 с.
7. СОУ-Н МЕВ 40.1-37471933-49:2011 Проектування кабельних ліній напругою до 330 кВ. Настанова (у редакції наказу від 26.01.2017 № 82)
8. “Правила улаштування електроустановок” (ПУЕ-2017). Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості від 24.07.2017 №476
9. <https://www.icafe-group.com/battery-types-the-comprehensive-guide/>
10. <https://www.britannica.com/technology/solid-state-battery>

					02.15.ЕС2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		95

11. <https://www.flashbattery.tech/en/blog/sodium-batteries/>

12. <https://www.aveva.com/en/our-industrial-life/type/article/biobatteries-that-need-to-be-fed-not-charged/>

13. <https://www.asme.org/topics-resources/content/a-self-sustaining-biobattery-keeps-the-juice-flowing>

					02.15.EC2111.КРБ.2025–ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		96