

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ

(інститут)

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ

(факультет)

Кафедра

СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Чубченка Віталія Вікторовича

(ПІБ)

академічної групи ЕЕ-15-1

(шифр)

напряму 050701 «Електротехніка та електротехнології»

(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою _____

(офіційна назва)

на тему Розробка системи релейного захисту та автоматики сонячної електростанції
потужністю 20 МВт

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	<u>Лисенко О.Г.</u>			
розділів:	<u>Лисенко О.Г.</u>			
Вступ:	<u>Лисенко О.Г.</u>			
Технічний	<u>Лисенко О.Г.</u>			
Спеціальний	<u>Лисенко О.Г.</u>			
Економічний	Тимошенко Л.В.			
Охорона праці	Лутс І.О.			
Рецензент				
Нормоконтролер	Олішевський Г.С.			

Дніпро
2019

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

систем електропостачання

_____ (повна назва)

_____ Випанасенко С.І.
(підпис) (прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеню Бакалавра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Чубченко В.В. академічної групи ЕЕ-15-1
(прізвище та ініціали) (шифр)

напряму 050701 «Електротехніка та електротехнології»
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою _____

_____ (офіційна назва)

на тему Розробка системи релейного захисту та автоматики сонячної електростанції
потужністю 20 МВт,

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 17.04.2019 № 626-л

Розділ	Зміст	Термін виконання
Вступ	Виконати аналіз поточного режиму роботи ... визначити проблеми експлуатації електрообладнання.	15.05.19
Технічний розділ	Характеристика об'єкту, обґрунтований вибір основного електрообладнання ...	25.05.19
Спеціальний розділ	Виконати розрахунок основного електрообладнання	31.05.19
Економічний	Визначити техніко-економічні показники проекту: капітальні та експлуатаційні витрати, термін окупності проекту.	05.06.19
Охорона праці	Розробка інженерно-технічних заходів з охорони праці при експлуатації об'єкту.	10.06.19

Завдання видано _____

(підпис керівника)

Лисенко О.Г.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі 26.04.2019

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

Прийнято до виконання _____

(підпис студента)

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 70 с., 11 рис., 17 табл., 2 додатка, 16 джерел.

Об'єкт розроблення: система релейного захисту та автоматики сонячної електростанції потужністю 20 МВт.

Мета дипломного проекту: дослідження і розробка системи релейного захисту та автоматики сонячної електростанції потужністю 20 МВт.

В дипломному проекті було спроектовано сонячну електростанцію 20 МВт і розроблено систему захисту і автоматики. Було обрано сучасне обладнання провідних виробників.

Вступна частина описує актуальність будівництва СЕС та прогноз на розвиток сонячної енергетики. Коротка характеристика об'єкта : розміщення, комплектація. Прогнозована виробка енергії за рік.

Технічний розділ показує повний опис сонячної електростанції. Обґрунтований вибір електрообладнання, головний акцент на сучасну систему релейного захисту на основі мікропроцесорних пристроїв.

В спеціальному розділі виконані розрахунки електрообладнання. Докладний розрахунок для релейного захисту, а саме розрахунок струмів КЗ на стороні 35 кВ і 0,48 кВ, ємнісних струмів у мережі 35 кВ; розрахунок двох групи релейного захисту, захист мінімальної напруги.

Було проаналізовано шкідливі та небезпечні чинники для навколишнього середовища в розділі «Охорона праці». Здійснена перевірка захисного заземлення головних вузлів згідно розрахунків і норм для КТП 35/0,48 кВ, РП-35 кВ, інверторів.

В економічному розділі було розраховано капітальні затрати на побудову СЕС і на якісне обладнання.

В цілому проект показує повну розробку СЕС, проектування і розрахунок релейного захисту електрообладнання і людського життя.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
Розділ 1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ.....	15
1.1 Характеристика СЕС.....	16
1.2 Система моніторингу СЕС.....	20
1.3 Релейний захист та автоматика.....	21
1.3.1 Захист інвертора.....	21
1.3.2 Захист мереж 35 кВ змінного струму.....	22
Розділ 2 СПЕЦІАЛЬНИЙ.....	24
2.1 Вибір ФЕМ та інверторів.....	25
2.2 Вибір обладнання КТП.....	27
2.2.1 Розподільча установка низької напруги PowerLine.....	27
2.2.2 Силовий трансформатор.....	30
2.2.3 Блок захисту трансформатора (УВН).....	31
2.3 Вибір обладнання РП.....	32
2.3.1 MVC0-35-WH/I Блок кабельного вводу 35 кВ.....	32
2.3.2 MVC0-35-CH/II Блок секційного роз'єднувача 35 кВ.....	32
2.3.3 MVC0-35-QH Блок вакуумного вимикача 35 кВ.....	32
2.3.4 MVC0-35-TN блок трансформатора власних потреб 35/0,4 кВ....	32
2.3.5 MVC0-35-TV блок вимірювальних трансформаторів напруги 35кВ.....	34
2.3.6 MVC0-35-WH/II блок кабельного вводу 35 кВ.....	34
2.4 Розрахунок уставок пристроїв РЗА.....	35
2.4.1 Розрахунок струму короткого замкнення на шинах 35 кВ СЕС (точка К1)	36
2.4.2 Розрахунок ударного струму КЗ на шинах 35 кВ СЕС.....	38
2.4.3 Розрахунок струму короткого замкнення на шинах 0,4 кВ КТП 0,4/35 (точка К2).....	38
2.4.4 Розрахунок уставок спрацьовування захисту.....	40
2.4.5 Розрахунок ємнісних струмів у мережі 35 кВ.....	45

2.4.6 Розрахунок уставок захисту від однофазних замикань на землю.....	47
2.4.7 Захист мінімальної напруги.....	47
Розділ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	48
3.1 Аналіз небезпечних та шкідливих чинників.....	49
3.1.1 Будівництво СЕС.....	49
3.1.2 Експлуатація СЕС.....	49
3.2 Інженерно технічні заходи з охорони праці.....	49
3.3 Пожежна безпека.....	52
3.4 Розрахунок захисного заземлення.....	56
Розділ 4 ЕКОНОМІЧНИЙ	57
4.1 Вступ.....	57
4.2 Розрахунок капітальних затрат.....	58
4.3 Розрахунок експлуатаційних витрат.....	61
4.3.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань.....	61
4.3.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати.....	62
4.3.3 Єдиний соціальний внесок.....	63
4.3.4 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт.....	63
4.3.5 Визначення інших витрат.....	63
4.4 Висновок.....	64
ВИСНОВКИ	65
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	66
ДОДАТОК А.....	68
ДОДАТОК Б.....	69

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ФЕМ – фотоелектричний модуль

КТП – комплектна трансформаторна підстанція

РП – розподільчий пункт

СЕС – сонячна електростанція

ВР – верховна рада

ККД – коефіцієнт корисної дії

КЛ – кабельна лінія

ОПН – обмежувач перенапруги

ТОВ – товариство з обмеженою відповідальністю

ТМГ – трифазний масляний герметичний

ВН – висока напруга

НН – низька напруга

УВН – пристрою вищої напруги

ДБН – державні будівельні норми

ДСТУ – державний стандарт України

ОЗЗ – однофазне замикання на землю

МСЗ – максимальний струмовий захист

ПС – підстанція

МП – мікропроцесорний пристрій

ВСТУП

Сонячна енергія - є однією з найбільш динамічних галузей серед розвитку відновлювальної енергетики. Її принцип полягає в перетворенні енергії, що випромінюється Сонцем, в електричну енергію. Сонячна енергія надзвичайно екологічна, вона не впливає на навколишнє середовище. В середньому по всій поверхні землі 4,2 кВт*год збирає один квадратний метр.

Розвиток сонячної електроенергії стимулюється в першу чергу економічними факторами, а також екологічністю. Прикладом цього є, постійне зростання ціни на традиційні джерела енергії (вугілля, нафту, торф, газ), знижуючи вартість обладнання для станцій, що працюють на відновлювальних джерелах енергії, при збільшенні їх продуктивності, призводить до зниження вартості виробленої електроенергії. У 2016 році «сонячна» електроенергія стала найдешевшою в порівнянні з іншими альтернативними методами виробництва електроенергії завдяки державній підтримці. Було створено спеціальну програму, яка заохочувала будівництво сонячних електростанцій шляхом використання економічно привабливого зеленого тарифу для викупу виробленої електроенергії. (ВР України, Закон «Про електроенергетику» від 16.10.1997 N575/97-ВР).

Зелений тариф - спеціальна ставка, по якій держава в образі підприємства "Енергоринок" купує в юридичних і фізичних осіб електроенергію, вироблену із застосуванням відновлених джерел енергії - сонця, вітру, біомаси і води (невеликі ГЕС). Для використання зеленого тарифу необхідний спеціальний порядок дій і права на додаткову закупку усього необхідного устаткування, однією з умов є те, що потрібно відкрити банківський рахунок зі зверненням в компанію, що дає електроенергію. В кінці ви складаєте договір купівлі-продажі. Важливими пунктами законодавства є положення про те, що виробники енергії з відновлювальних джерел енергії мають право на:

- гарантоване підключення до існуючих енергетичних мереж;

- гарантоване придбання енергопостачальними організаціями всієї енергії, виробленої з відновлювальних джерел;
- незмінність тарифів, за якими купується енергія протягом їх дії.

Для України майбутнє з можливістю підключення зеленого тарифу виглядає позитивно. Всі провідні країни світу вже давно використовують зелений тариф (Саудівська Аравія, Каліфорнія, Флорида). На сьогоднішній день найвища ціна на зелений тариф в Україні, який перевищує вартість електроенергії у декілька разів. З кожним роком збільшується кількість пропозиції, цим самим зменшується попит, тому тариф з кожним роком зменшується. Виходячи з цих чинників можна сказати що, чим раніше підключитись до програми, тим вищим буде фіксований тариф. Дані статистики по зниженню вартості тарифу наведенні в таблиці 1.

Таблиця 1 – Статистика по зниженню вартості тарифу

Вартість за 1 кВт*год., євро	Рік підключення СЕС
0.193	2016
0.183	2017-2019
0.164	2020-2024
0.146	2025-2029

Головним елементом кожної сонячної електростанції являються сонячні батареї (фотоелектричні модулі), вони виступають як джерело електричного струму, який виробляється за рахунок перетворення сонячного випромінювання. Вони зібрані з окремих компонентів - сонячних модулів, принцип роботи яких заснований на явищі внутрішнього фотоелектричного ефекту в напівпровідниках. Сонячні батареї мають ряд переваг і мінімум недоліків.

Переваги:

- доступність (кожна частина Землі освітлюється сонцем);
- висока екологічність (при експлуатації відсутні відходи);

- відсутність шуму;
- велика область використання (можуть використовуватись як, дахові СЕС, так і наземні);
- нові технології (з кожним роком іде удосконалення батареї, модернізація).

Недоліки:

- велика відносна вартість;
- сонячне світло – непостійна одиниця (ККД батареї знижується в ночі і похмуру погоду).

На сьогоднішній день існують два передових види ФЕМ: монокристалічні та полікристалічні. Вважають, що монокристалічні ФЕМ мають ряд переваг в порівнянні полікристалічними, але головною і вирішальною відміною є велика вартість першого варіанта. Монокристалічні модулі мають більший ККД до 22%, водночас полікристалічні мають до 18%. Для промислових СЕС великої потужності використовують полікристалічні модулі. Монокристалічні модулі частіше використовують при побудові СЕС при дефіциті місця, наприклад для дахових електростанцій.

Об'єктом проектування стала сонячна електростанція (СЕС) зальної потужністю 20 МВт. СЕС розташована поблизу селища Мала Білозерка, Запорізької області, Василівського району. Згідно фізико-географічної карти України, досліджувана ділянка відноситься до Східноєвропейської рівнини, Степової зони, Середньостепової підзони, розташовуючись в межах Причорноморського середньостепового краю, відносячись до Дніпровсько-Молочанської низовинної області. У геоструктурному відношенні вивчена територія розташована в межах Середньопридніпровського блоку Українського кристалічного щита. Український кристалічний масив – це брилеве підняття кристалічного фундаменту Східноєвропейської платформи, що простягається в межах України вздовж середньої течії Дніпра смугою довжиною понад 1000 км і шириною.

З південно-сходу від СЕС розташований залізорудний комбінат. В північному напрямку знаходиться селище Мала Білозерка. З півдня та заходу від ділянки розташовані місцеві автодороги, з півночі та сходу – рілля. Рельєф місцевості рівнинний. В деяких місцях передбачається підсипка ґрунту в межах господарчого майданчика.

Основні кліматичні показники даного регіону показані в таблиці 2.

Таблиця 2 – Основні кліматичні показники

Найменування	Характеристика
1	2
Вітрове навантаження	460 Па
Снігове навантаження	110 Па
Товщина стінки ожеледі	19 мм
Річна кількість опадів	443 мм
Середньорічна температура повітря	+11,1 °С
Абсолютна мінімальна температура	-30 °С
Абсолютна максимальна температура	+40 °С
Сейсмічність району	5 балів
Нормативна глибина промерзання ґрунту	0,8 м

Сонячна електростанція розташована на вільній території (рілля). Заїзд на територію СЕС запланований з існуючої автодороги, покриттям з двошарового асфальтобетону. По території запроектовано під'їзди до елементів електричної інфраструктури з щебеневим покриттям.

Ділянка всього комплексу сонячної електростанції має огорожу з металевих сітчастих панелей з воротами та хвірткою. Запроектовано висота огорожі 2 м., ворота шириною 4 м., хвіртка шириною 1 м. Огорожа зі

спіральним бар'єром безпеки. Периметр пожежного проїзду вздовж паркану має ґрунтове покриття.

В склад проекту СЕС входить:

- фотоелектричні модулі (ФЕМ);
- інвертори;
- комплектна трансформаторна підстанція (КТП) з силовим трансформатором;
- розподільчий пункт;
- виробничий корпус №1.

Для даного об'єкта запроєктовані полікристалічні ФЕМ від виробника "Risen" типу RSM72-6-345M. Сонячна батарея номінальною потужністю 345 Вт, тип кремнію - монокристал. До складу модуля входить приєднувальна коробка, яка інтегрована в його конструкцію. Кожна коробка має подовжені виводи (два PV кабелі довжиною 1200 мм кожен) з конекторами плюсового і мінусового виводів для швидкої комутації та виключення помилкових з'єднань. Модуль обрамлений в алюмінієву раму з технологічними отворами для його механічної фіксації на опорних металевих конструкціях (столах). Номінальні параметри ФЕМ показані в таблиці 3.

Таблиця 3 – Номінальні параметри ФЕМ

Параметр	Величина	
1	2	
<u>Електричні параметри</u>	<u>STC</u>	<u>NOCT</u>
Максимальна потужність, Вт	345	252,4
Напруга максимальної потужності, В	38,5	35,5
Струм максимальної потужності, А	8,97	7,11
Ефективність модуля STC, %	17,80%	
Максимальна напруга збірки, В	1000	
<u>Температурні характеристики</u>		
Температурний коефіцієнт для потужності, %/°C	-0,39	
Температурний коефіцієнт для напруги холостого ходу, %/°C	-0,32	
Температурний коефіцієнт для стуму КЗ, %/°C	0,05	

Кінець таблиці 3

<u>1</u>	<u>2</u>
<u>Механічні параметри</u>	
Діапазон робочих температур, °С	-40...+80
Номінальна робоча температура чарунок (НОСТ), °С	45±2
Габаритні розміри, мм	1956x992x40
Маса, кг	24
Площа, м ²	1,94

STC (Standard Test Conditions), визначає стандартні тестові умови:

- рівень інсоляції повинен бути 1000 Вт на м²;
- температура сонячного модуля – 25 °С;
- спектр випромінювання повинен відповідати відносній масі атмосфери 1,5;
- швидкість вітру 0 м/с.

Такі ідеальні умови неможливо побачити на практиці, бо будь-яке відхилення із умов призводить до зниження фактично вироблюваної потужності.

НОСТ (Nominal Operating Cell Temperature) - температура модуля при типових умовах експлуатації, яке стало однією з основних характеристик панелей. Чим нижче НОСТ панелі, тим краще вона буде працювати. НОСТ визначається за умов:

- інсоляція 800 Вт/м²;
- температура повітря 20°С;
- орієнтації модуля на ПД.

Виходячи з розташування СЕС, розраховуємо оптимальний кут нахилу панелі:

$$\alpha = \text{Ш} * 0,76 + 3,1^\circ \quad (1)$$

$$\alpha = 47,83 * 0,76 + 3,1 = 39,45^\circ$$

де Ш = 47,83° – координати широти розташування електростанції (Запоріжжя).

З параметрів NOCT обчислюємо очікувану температуру модуля за формулою:

$$T_{PTC} = 20 + 1,389 * (NOCT - 20) * (0,9 - \eta) \quad (2)$$

$$T_{PTC} = 20 + 1,389 * (45 - 20) * (0,9 - 0,178) = 45,071 \text{ } ^\circ\text{C}$$

де NOCT – номінальна робоча температура чарунок, $^\circ\text{C}$;

η – ефективність модуля STC, %.

З даних які вже є можна обчислити фактичну потужність одного модуля:

$$P_{PTC} = P_{STC} * [1 - C_T * (T_{PTC} - 25^\circ\text{C})] \quad (3)$$

$$P_{PTC} = 345 * [1 - 0,0039 * (45,071 - 25)] = 318 \text{ Вт}$$

де P_{STC} – максимальна потужність модуля, Вт;

C_T – температурний коефіцієнт для потужності, $\%/^\circ\text{C}$;

T_{PTC} – очікувана температура модуля, $^\circ\text{C}$.

Опираючись на основний параметр СЕС, а саме її потужність $P_{СЕС}$, яка становить 20 МВт, було підраховано оптимальну кількість модулів за формулою:

$$N_{ФЕМ} = \frac{P_{СЕС}}{P_{PTC}} \quad (4)$$

$$N_{ФЕМ} = \frac{P_{СЕС}}{P_{PTC}} = \frac{20 * 10^6}{318} = 62894 \text{ шт.}$$

де $P_{СЕС}$ – потужність СЕС, МВт;

P_{PTC} - фактична потужність одного модуля, Вт.

Таким чином для побудови СЕС нам необхідно 62894 панелей.

Як відомо продуктивність сонячних електростанції прямим шляхом залежить від пори року, точніше від сонячної активності в різні місяці. Взявши дані NASA про середньомісячний рівень сонячної інсоляції E_0 в містах України, а саме в місті Запоріжжя (таблиці 4), порахуємо кількість вироблення сонячної енергії в кожному місяці за формулою:

$$E_{\text{доб}} = E_0 * \eta * \frac{P_{PTC}}{P_{STC}} * S_1 * N_{ФЕМ} * 10^{-3} \quad (5)$$

$$E_{\text{доб}} = 1,21 * 0,178 * \frac{318}{345} * 1,94 * 62894 * 10^3 = 24,22 \text{ МВт*год/добу}$$

На прикладі січня бачимо, що середня виробка сонячної енергії становить 24,22 МВт*год/добу.

Таблиця 4 – Середньомісячний рівень сонячної інсоляції в місті Запоріжжя

Дані NASA за останні 20 років	
1	2
Місяць	E_0 , кВт*год/(м ² *день)
Січень	1,21
Лютий	2
Березень	2,91
Квітень	4,2
Травень	5,62
Червень	5,72
Липень	5,88
Серпень	5,18
Вересень	3,87
Жовтень	2,44
Листопад	1,25
Грудень	0,95

За формулою (4) рахуємо середнє вироблення сонячної енергії кожного місяця, результати занесені в таблицю 5.

Таблиця 5 - Середнє вироблення сонячної енергії кожного місяця

Місяць	$E_{\text{доб}}$, МВт*год/добу
1	2
Січень	24,227
Лютий	40,044
Березень	58,265

Кінець таблиці 5

1	2
Квітень	84,093
Травень	112,525
Червень	114,527
Липень	117,730
Серпень	103,715
Вересень	77,486
Жовтень	48,854
Листопад	25,028
Грудень	19,021

Повна картина виробки сонячної енергії нашої СЕС показана рисунку (1.1). Дивлячись на рисунок можна сказати, що самий продуктивний місяць року – липень 117,73 МВт*год/добу, а самий непродуктивний – грудень 19,021 МВт*год/добу.

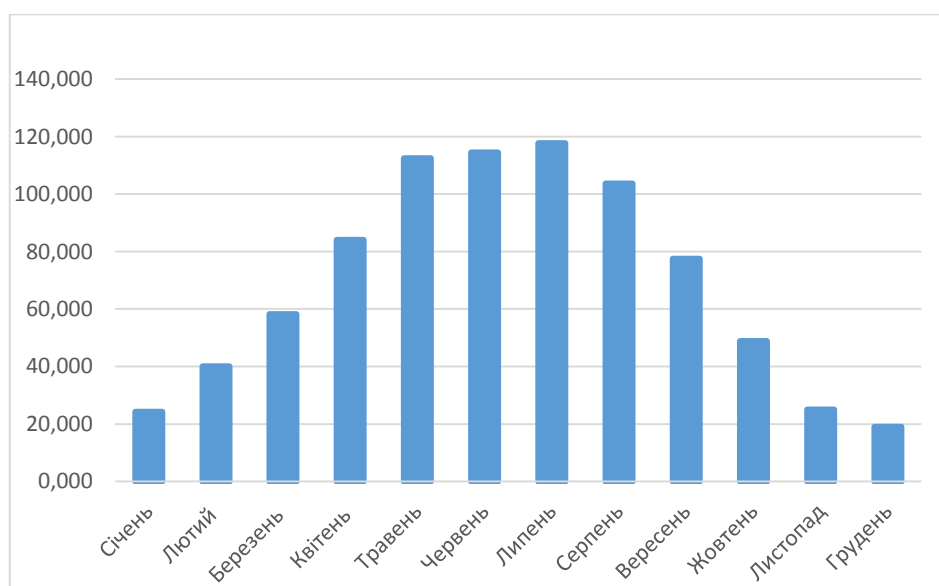


Рисунок 1 – Виробка сонячної енергії

ВИСНОВКИ

За останні роки стрімко розвивалася сонячна енергетика, цим самим виросла тенденція на будівництво сонячних електростанцій. Це пояснюється екологічністю та бистрою окупністю. Також перевагою є довгий термін служби та мінімальне обслуговування.

Метою дипломного проекту була розробка системи релейного захисту та автоматики сонячної електростанції в тому числі і проектування її самої. В проектуванні враховувалось місце розташування, клімат, ґрунт та заплановану потужність. Опираючись на ці показники було обрано і розраховано електрообладнання.

Для об'єктів, таких як СЕС велику увагу приділяють релейному захисту і автоматичі. Опираючись на економічний розділ, можемо побачити, що вартість на комплектуючі досить велика, тому РЗіА займає передове місце. Щоб уникнути аварій, наприклад: коротких замкнень, вихід зі строю одного чи багатьох елементів, що понесе за собою негативні наслідки, було розроблено систему захисту.

В основі релейного захисту було обрано мікропроцесорний пристрій REF 615, провідного виробника фірми АВВ. Це багатофункціональний пристрій, який задовольняє всі вимоги проекту. На основі даних розраховано: дві групи уставок (струмову відсічку максимальну струмову відсічку) з витримкою часу і без, уставок захисту від однофазних замикань на землю, захист мінімальної напруги. Також контроль якості виробленої енергії ведеться за допомогою пристрою SATEC PM175.

Можна зробити вивід, що безпека, якість і прогнозованість непередбачуваних ситуації важливий. Проект показує наглядно розрахунок всіх головних задач СЕС.

Для більш детального ознайомлення з матеріалами кваліфікаційної роботи звертайтеся до заступника завідуючого кафедри електроенергетики проф. Луценко І.М.

Електронна адреса lutsenko.i.m@nmu.one