

Вінницький національний технічний університет

Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

Підвищення енергоефективності електропостачання Товариства з
обмеженою відповідальністю «Вендичанський цегла» з використанням
фотоелектричних модулів

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕЕ-216
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

за ОП **Електропостачання та енергозбереження**

Величко В. М. Вел

Керівник: к.т.н., доцент доц. ЕСЕЕМ

Степура О. В.

« 16 » 06 2025 р.

Рецензент: к.т.н., доцент. каф. ЕСС
(наук.ступінь, вч.звання, назва кафедри)

Вишневський С.Я.

« 16 » 06 2025 р.

Допущено до захисту
завідувач кафедри ЕСЕЕМ
д.т.н., професор Бурбело М. Й.

Бурбело М. Й.
« 16 » 06 2025 р.

Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного
менеджменту

Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСЕМ

д.т.н., проф. Бурбело М.Й.

« 20 » 03 2025р.

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Величко Віталій Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Підвищення енергоефективності енергопостачання ТОВ "Вендичанська цегла" з використанням фотоелектричних модулів».

керівник роботи Степура О. В., к.т.н., доц.,

затверджені наказом по ВНТУ від « 20 » 03 2025 року, № 97

2. Строк подання студентом роботи « 05 » червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: Генплан підприємства; план одного із цехів з технологічними плануваннями, відомості про особливості технологічних процесів; відомості про електричні навантаження підприємства та цеху; відомості про джерела живлення; відомості про перспективу розвитку підприємства.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки.

Анотація.

Зміст

Вступ

1 Загальні відомості про ТОВ «Вендичанська цегла»

1.1 Опис технологічних процесів на підприємстві

1.2 Коротка характеристика споживачів та їх відомості про споживання

2 Розрахунок системи електропостачання

2.1 Розрахунок електричних навантажень

2.1.2 Розрахунок навантажень підприємства

2.2 Вибір та розміщення підстанції

2.2.1 Вибір оптимальної напруги живлення

2.2.2 Техніко-економічне порівняння класів напруги живлення

2.2.3 Вибір і розміщення цехових ТП

2.3 Розрахунок зовнішнього електропостачання

2.3.1 Вибір схеми та основних елементів заводської мережі

2.3.2 Розрахунок струмів КЗ та перевірка вибраних вимикачів

- 2.4 Розрахунок електропостачання цеху
- 2.4.1 Вибір схеми цехової мережі
- 2.4.2 Вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників цехової мережі
- 2.4.3 Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В
- 3 Можливості створення фотоелектричної електростанції
- 3.1 Світова фотоелектрична енергетика
- 3.2 Аналіз останніх відомих схем автономної фотоелектричної установки (ФЕУ)
- 3.2.1 Інвертори для традиційних автономних сонячних фотоелектричних систем
- 3.2.2 Зниження втрат в сонячних фотоелектричних системах
- 3.2.3 Трансформаторна схема, що поєднує інверторну і конверторну частини ФЕУ
- 3.2.4 Одноступенева система підвищення напруги та інвертування
- 4 Охорона праці
- Висновок
- Список використаних джерел
- Додатки
6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Кобилянський О.В., д.п.н., професор		

7. Дата видачі завдання «___» _____ 2025 року

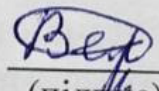
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальні відомості про підприємство	10.03.2025	Виконано
2	Розрахунок системи електропостачання	22.04.2025	Виконано
3	Можливості створення фотоелектричної електростанції	17.05.2025	Виконано
4	Охорона праці	20.05.2025	Виконано
5	Графічна частина роботи	30.05.2025	Виконано

Студент

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

Нормоконтроль


(підпис)

Величко В. М.
(прізвище та ініціали)

Степура О. В.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

(підпис)

Войтюк Ю. П.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Величко Віталій Миколайович. Підвищення Енергоефективності енергопостачання ТОВ "Вендичанська цегла" з використанням фотоелектричних модулів. Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Кафедра ЕСЕЕМ – Вінниця: ВНТУ, ФЕЕЕМ, 2025 – 74 с.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі виконано дослідження системи електропостачання промислового підприємства ТОВ «Вендичанська цегла» з метою підвищення її енергоефективності шляхом впровадження фотоелектричних модулів. Проведено аналіз технологічних процесів та електроспоживання підприємства, розроблено схему інтеграції фотоелектричних модулів до системи електропостачання. Розроблено рекомендації щодо забезпечення електробезпеки та охорони праці, включаючи заходи для мінімізації впливу шкідливих виробничих факторів, таких як шум і вібрація. Результати роботи спрямовані на підвищення надійності, енергоефективності та екологічної стійкості системи електропостачання підприємства.

Рисунків – 19

Таблиць – 25

Бібліографії – 34

ABSTRACT

Velychko Vitalii Mykolaiovych. Increasing the Energy Efficiency of the Power Supply of LLC "Vendychanska Tsegla" Using Photovoltaic Modules. Specialty 141 – Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics. – Department of ESEEM – Vinnytsia: VNTU, FEEEM, 2025 – 74 p.

In the bachelor's qualification work, a study of the power supply system of the industrial enterprise LLC "Vendychanska Tsegla" was carried out in order to increase its energy efficiency by introducing photovoltaic modules. An analysis of technological processes and electricity consumption of the enterprise was carried out, a scheme for integrating photovoltaic modules into the power supply system was developed. Recommendations were developed for ensuring electrical safety and labor protection, including measures to minimize the impact of harmful production factors, such as noise and vibration. The results of the work are aimed at increasing the reliability, energy efficiency and environmental sustainability of the enterprise's power supply system.

Figures – 19

Table – 25

Bibliography –34

ЗМІСТ

ЗМІСТ	3
ВСТУП	5
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ТОВ «ВЕНДИЧАНСЬКА ЦЕГЛА»	7
1.1 Опис технологічних процесів на підприємстві	8
1.2 Коротка характеристика споживачів та їх відомості про споживання	10
2 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	14
2.1 Розрахунок електричних навантажень	14
2.1.2 Розрахунок навантажень підприємства	17
2.2 Вибір та розміщення підстанції	19
2.2.1 Вибір оптимальної напруги живлення	20
2.2.2 Техніко-економічне порівняння класів напруги живлення	21
2.2.3 Вибір і розміщення цехових ТП	22
2.3 Розрахунок зовнішнього електропостачання	29
2.3.1 Вибір схеми та основних елементів заводської мережі	30
2.3.2 Розрахунок струмів КЗ та перевірка вибраних вимикачів	32
2.4 Розрахунок електропостачання цеху	36
2.4.1 Вибір схеми цехової мережі	36
2.4.2 Вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників цехової мережі	36
2.4.3 Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В	39
3 МОЖЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ..	45
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	57
4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту	57
4.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	57
4.1.2 Електробезпека	60
4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	61
4.2.1 Мікроклімат	61
4.2.2 Склад повітря робочої зони	62
4.2.3 Виробниче освітлення	63
4.2.4 Виробничий шум	64
4.2.5 Виробнича вібрація	65
ВИСНОВОК	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	72

	4
Додатки	76
Додаток А – Вихідні дані	77
Додаток Б – Протокол перевірки роботи на наявність текстових запозичень ...	79
Додаток В – Ілюстративний матеріал	80
Додаток Г - Розрахунок капіталовкладень обох варіантів.....	84

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасних умовах зростання цін на енергоносії, посилення екологічних вимог та необхідності зниження вуглецевого сліду промислових підприємств питання підвищення енергоефективності систем електропостачання набуває особливої актуальності. ТОВ «Вендичанська цегла», як підприємство з енергоємним виробничим циклом, що включає подрібнення сировини, формування, сушіння та випал цегли, споживає значні обсяги електроенергії. Використання фотоелектричних модулів для часткового забезпечення енергопотреб підприємства є перспективним рішенням, яке дозволяє не лише знизити витрати на електроенергію, але й зменшити залежність від зовнішніх джерел енергії та сприяти сталому розвитку. Впровадження сонячних електростанцій відповідає глобальним тенденціям переходу до відновлювальних джерел енергії та сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємства за рахунок економії ресурсів та відповідності сучасним екологічним стандартам.

Мета роботи. Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є розробка системи електропостачання ТОВ «Вендичанська цегла» з використанням фотоелектричних модулів для підвищення енергоефективності, зниження енергетичних витрат та забезпечення стабільної роботи підприємства.

Задачі дослідження:

1. Провести аналіз технологічних процесів та електроспоживання ТОВ «Вендичанська цегла».
2. Визначити електричні навантаження підприємства та окремого цеху.
3. Розробити схему інтеграції фотоелектричних модулів у систему електропостачання підприємства.
4. Виконати техніко-економічне обґрунтування використання фотоелектричних модулів, включаючи розрахунок капітальних витрат та окупності.

5. Розробити рекомендації щодо забезпечення електробезпеки та охорони праці при експлуатації фотоелектричних систем.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є система електропостачання промислового підприємства ТОВ «Вендичанська цегла» з урахуванням можливості інтеграції фотоелектричних модулів.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ТОВ «ВЕНДИЧАНСЬКА ЦЕГЛА»

ТОВ «Вендичанська цегла» є одним із провідних підприємств Вінницької області, що спеціалізується на виробництві керамічної цегли для будівельної галузі. Підприємство розташоване в смт Вендичани Могилів-Подільського району Вінницької області, що забезпечує зручний доступ до місцевих родовищ глини, основної сировини для виробництва. Заснований у 1929 році, Вендичанський цегельний завод має багаторічну історію розвитку, протягом якої підприємство модернізувало технології та розширювало виробничі потужності. Сьогодні ТОВ «Вендичанська цегла» є важливим постачальником високоякісної керамічної цегли марок М-125 та М-150, яка використовується для будівництва житлових, комерційних та промислових об'єктів у регіоні та за його межами.[17].

Виробнича діяльність підприємства орієнтована на забезпечення стабільної якості продукції, що відповідає сучасним стандартам будівельної індустрії. Завдяки вдалому розташуванню в межах Вінницької області, яка характеризується родючими ґрунтами та багатими покладами глини, підприємство має стабільну сировинну базу. Крім того, близькість до транспортних магістралей сприяє ефективній логістиці, що дозволяє оперативно доставляти продукцію клієнтам у Вінниці, Києві та інших містах України. Підприємство активно співпрацює з будівельними компаніями, забезпечуючи швидке виконання замовлень та високий рівень сервісу.

Електропостачання відіграє ключову роль у діяльності ТОВ «Вендичанська цегла», оскільки виробничий цикл включає енергоємні процеси, такі як подрібнення сировини, формування цегли, сушіння та випал. Надійність і ефективність системи електропостачання безпосередньо впливають на продуктивність підприємства, якість продукції та її собівартість. У цьому розділі розглянуто основні аспекти технологічних процесів підприємства та характеристики його електроспоживачів, що є важливим для аналізу системи електропостачання.

1.1 Опис технологічних процесів на підприємстві

ТОВ «Вендичанська цегла» спеціалізується на виробництві керамічної цегли (рис. 1.1) , яка використовується в будівництві для зведення стін, перегородок та інших конструктивних елементів. Виробничий цикл підприємства включає кілька основних етапів, кожен з яких потребує стабільного електропостачання для забезпечення безперервної роботи обладнання. Основними технологічними процесами є підготовка сировини, формування цегли-сирцю, сушіння та випал, а також пакування і транспортування готової продукції.

На першому етапі здійснюється підготовка сировини, зокрема глини, яка є основним компонентом для виготовлення керамічної цегли. Глина видобувається в кар'єрі, після чого транспортується на підприємство для подрібнення та змішування. Для цього використовуються дробильні установки, змішувачі та конвеєри, які працюють на електричних двигунах. Ці процеси характеризуються значним споживанням електроенергії через необхідність забезпечення високої потужності обладнання для обробки великих обсягів сировини. Крім того, важливим є підтримання однорідності сировинної маси, що потребує точного керування обладнанням.

Наступним етапом є формування цегли-сирцю. Сировинна суміш подається до пресів або екструдерів, де формується цегла заданих розмірів. Цей процес також є енергоємним, оскільки преси та екструдери оснащені потужними електродвигунами, які забезпечують необхідний тиск для формування виробів. Точність і швидкість роботи обладнання напряму залежать від стабільності електропостачання, адже будь-які перебої можуть призвести до дефектів у продукції.

Після формування цегла-сирець направляється на сушіння, що є одним із ключових етапів виробництва. Сушильні камери, які використовуються на підприємстві, оснащені системами вентиляції та нагріву, що працюють за рахунок електроенергії. Температурний режим і вологість у сушильних камерах

ретельно контролюються, щоб уникнути тріщин або деформацій цегли. Цей процес вимагає значних енерговитрат, оскільки електричні нагрівачі та вентилятори працюють у безперервному режимі.

Фінальним етапом є випал цегли в тунельних або кільцевих печах. Випал здійснюється при високих температурах (до 1000–1200°C), що забезпечує міцність і довговічність готової продукції. Хоча основним джерелом тепла в печах може бути природний газ, електроенергія використовується для роботи допоміжного обладнання, зокрема вентиляторів, систем автоматизації та транспортувальних механізмів. Надійність електропостачання на цьому етапі є критично важливою, оскільки перерви можуть призвести до порушення температурного режиму та псування партії цегли.

Завершальним етапом є пакування готової продукції та її транспортування на склади (рисунок 2.1) або безпосередньо до споживачів.



Рисунок 1.1 – Склад готової продукції підприємства

1.2 Коротка характеристика споживачів та їх відомості про споживання

ТОВ «Вендичанська цегла» є промисловим підприємством, що належить до категорії непобутових споживачів електроенергії, які характеризуються значними обсягами електроспоживання через енергоємність технологічних процесів. Основними споживачами електроенергії на підприємстві є обладнання, задіяне у виробничому циклі, зокрема дробильні установки, змішувачі, преси, екструдери, сушильні камери, вентиляційні системи, а також допоміжні механізми для пакування і транспортування готової продукції. Електроспоживачі підприємства можна умовно поділити на основні групи залежно від їх функціонального призначення та потужності.

Першою групою є електродвигуни, які забезпечують роботу обладнання для підготовки сировини та формування цегли-сирцю. Ці пристрої, такі як дробарки, змішувачі та преси, мають високу встановлену потужність, яка зазвичай становить від 50 до 200 кВт на одиницю обладнання, залежно від типу та продуктивності. Робота цих механізмів характеризується тривалими періодами безперервної експлуатації, що зумовлює значне споживання електроенергії, особливо в пікові періоди виробництва. Наприклад, для подрібнення глини та формування цегли-сирцю обладнання може працювати до 12–16 годин на добу, що формує основну частку електроспоживання підприємства.

Другою групою споживачів є системи сушіння та вентиляції. Сушильні камери, які використовуються для видалення вологи з цегли-сирцю, оснащені електричними нагрівачами та вентиляторами, які забезпечують підтримання необхідного температурного режиму та циркуляцію повітря. Ці системи споживають значну кількість електроенергії, оскільки працюють у безперервному режимі для забезпечення рівномірного сушіння. За оцінками, сушильні камери можуть складати до 30–40% від загального електроспоживання підприємства, залежно від обсягів виробництва та типу обладнання.

Третя група включає допоміжне обладнання, таке як конвеєрні лінії, пакувальні машини та електричні навантажувачі, які використовуються на етапі пакування та транспортування готової продукції. Хоча ці пристрої мають меншу потужність порівняно з основним технологічним обладнанням (зазвичай від 5 до 50 кВт), їхня робота є невід'ємною частиною виробничого процесу. Крім того, до споживачів електроенергії належать системи освітлення, вентиляції адміністративних приміщень та комп'ютерне обладнання, які, хоча й мають незначну частку в загальному споживанні, забезпечують комфортні умови роботи персоналу.

Електропостачання підприємства здійснюється через АТ «Вінницяобленерго», яке забезпечує розподіл електроенергії в регіоні. Для забезпечення надійності електропостачання ТОВ «Вендичанська цегла» віднесено до споживачів II категорії надійності, оскільки перерви в електропостачанні можуть призводити до зупинки технологічного процесу. Для оптимізації витрат на електроенергію підприємство може використовувати зонні лічильники, які дозволяють враховувати споживання в денні та нічні періоди за різними тарифами, що є актуальним для енергоємних виробництв.

Таким чином, електроспоживачі ТОВ «Вендичанська цегла» характеризуються високою енергоємністю та безперервним режимом роботи, що вимагає стабільного та надійного електропостачання. Основними факторами, що впливають на обсяги споживання, є сезонність виробництва, інтенсивність роботи обладнання та застосовувані технології. Раціональне управління електроспоживанням, включаючи використання енергоефективного обладнання та оптимізацію графіків роботи, може значно знизити витрати підприємства на електроенергію, підвищуючи його конкурентоспроможність. Схематичний план підприємства представлено на рисунку 1.2.

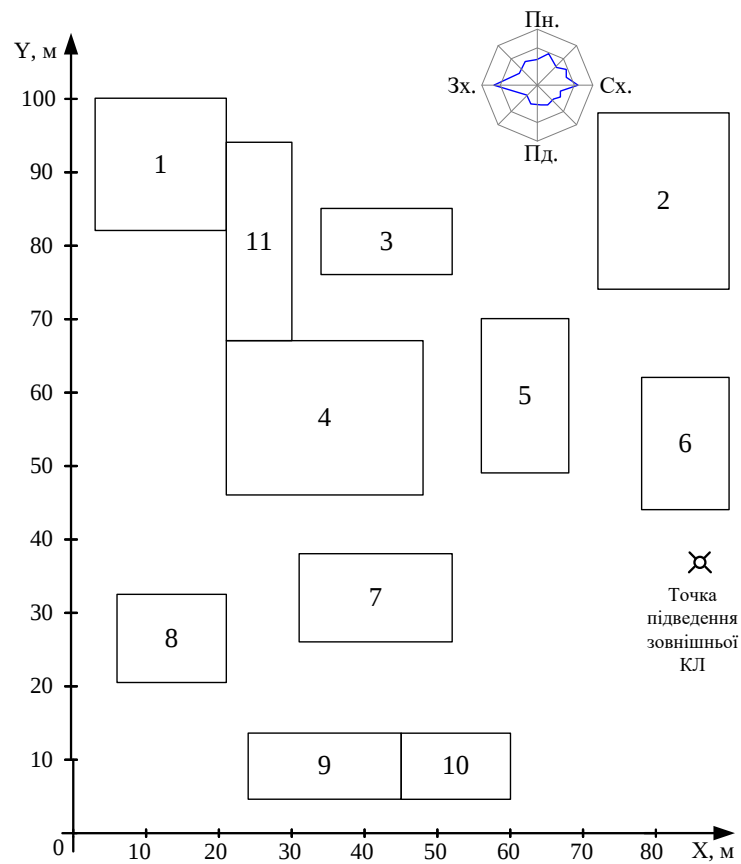


Рисунок 1.2 – Генплан підприємства

Відомості про електричні навантаження ТОВ «Вендичанська цегла» наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Відомості про електричні навантаження ТОВ "Вендичанська цегла"

№ на плані	Назва цеху	Р _н , кВт
1	Цех підготовки сировини	104
2	Цех формування цегли-сирцю	117
3	Цех сушіння	221
4	Цех випалу	455
5	Цех пакування	156
6	Цех транспортування сировини	92,3
7	Цех підготовки допоміжних матеріалів	65
8	Цех технічного обслуговування	91
9	Цех адміністративних приміщень	182
10	Склад готової продукції	5,2
11	Цех вентиляції та кондиціонування	53,3

План електропостачання цеху наведений на рисунку 1.3

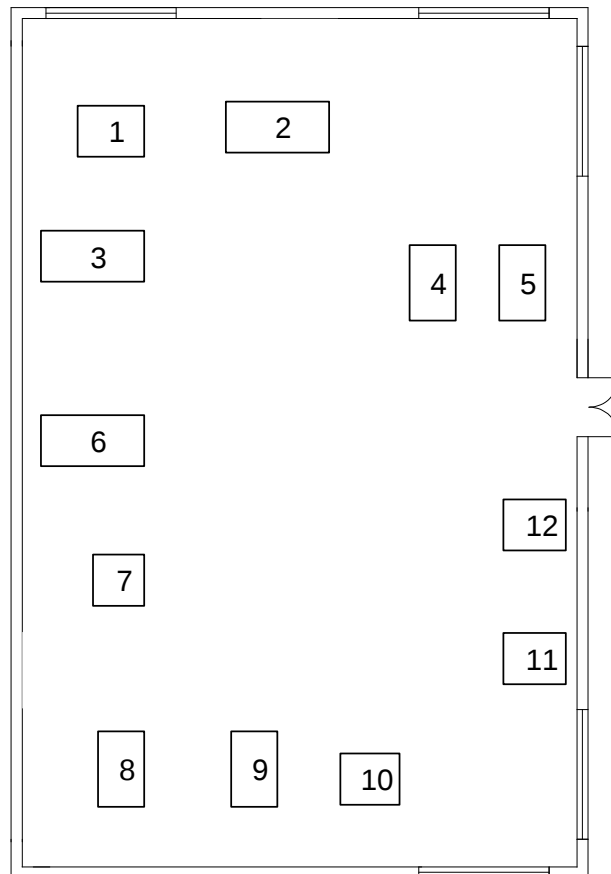


Рисунок 1.3 – План цеху випалу

Таблиця 1.2 – Відомості про електричні навантаження цеху випалу

№	ЕП	P_n , кВт
1	Піч для випалу 1	65
2	Піч для випалу 2	52
3	Вентилятор сушильної камери	45,5
4	Конвеєр подачі цегли	45,5
5	Конвеєр транспортування	45,5
6	Додатковий конвеєр	28,6
7	Нагнітач повітря для печі	45,5
8	Насос циркуляції повітря	28,6
9	Насос водопостачання	32,5
10	Вентилятор охолодження	19,5
11	Електродвигун змішувача	41,6
12	Електродвигун преса	41,6

У підрозділах 1.1 та 1.2 наведено інформацію про електричні навантаження цеху та підприємства в цілому. Детально викладено технологію виробництва. На підставі аналізу цих даних встановлено, що підприємство характеризується багатoproфільністю та має добре налагоджений виробничий процес.

2 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

2.1 Розрахунок електричних навантажень

Живлення електроприймачів (ЕП) випалу здійснюється через два розподільчі пункти РП-1,2. РП-1,2 приєднано до трансформаторної підстанції ТП (рисунок 2.1). Піч для випалу 1 та 2 номінальна потужність яких 65 кВт та 52 кВт приєднано відразу до ТП.

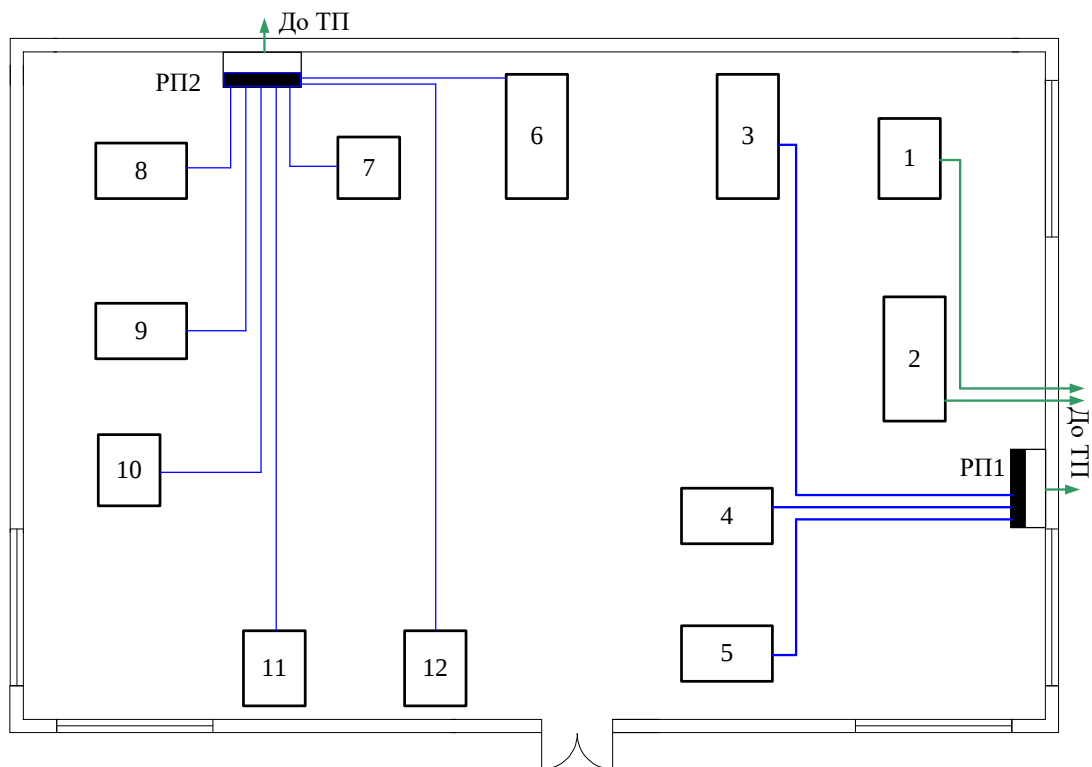


Рисунок 2.1 – План електропостачання цеху

Розрахунок виконаємо в табличній формі (форма Ф636-92) згідно з РТМ 36.18.32.4-92.

Розрахункові навантаження окремих електроприймачів (ЕП) або ліній, що живлять два чи три ЕП (І рівень), установлюються на рівні їхніх номінальних значень:

$$P_p = P_H, Q_p = P_H \cdot \operatorname{tg} \varphi_H; \quad (2.1)$$

де P_H – номінальна активна потужність ЕП, кВт;

$\operatorname{tg} \varphi_H$ – номінальний коефіцієнт реактивної потужності.

Розрахункові навантаження для живлячих мереж напругою до 1000 В визначають за формулами:

$$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} ; \quad (2.2)$$

$$Q_p = \begin{cases} 1,1 \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \operatorname{tg} \varphi_{Ci}, & \text{при } n_e \leq 10; \\ \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \operatorname{tg} \varphi_{Ci}, & \text{при } n_e > 10. \end{cases} \quad (2.3)$$

Для магістральних шинопроводів:

$$\begin{aligned} P_p &= K_p \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \\ Q_p &= K_p \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \operatorname{tg} \varphi_{Ci} \end{aligned} \quad (2.4)$$

де $P_{\text{пас}}$ – паспортні номінальна потужність, кВт ;

$T_{\text{ПВ.паса}}$ – відносна тривалість повторного ввімкнення відповідно, с ;

n_e – ефективне число ЕП.

Значення K_p можна визначити із [6, таблиці 1, 2].

Середні величини, активна і реактивна потужності:

$$P_C = K_B \cdot P_H ; \quad Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg} \phi. \quad (2.5)$$

Груповий коефіцієнт використання та ефективне число ЕП:

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi}}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}} ; \quad (2.6)$$

$$n_e = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{Hi} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}^2} ; \quad (2.7)$$

Розрахункове значення n_e округляється до меншого цілого числа.

За [6] таблицею 1 визначаємо коефіцієнт максимуму $K_p = f(K_B; n_e)$.

Знаходимо значення повної розрахункової потужності:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (2.8)$$

Знаходимо розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H}. \quad (2.9)$$

де U_H – номінальна напруга, кВ.

Розрахунок силового навантаження для РП-1:

$$P_C = 7,74 + 13,65 + 15,93 = 37,31 \text{ (кВт)};$$

$$Q_C = 9,04 + 18,2 + 18,62 = 45,86 \text{ (кВар)};$$

$$K_B = \frac{37,31}{136,5} = 0,27;$$

$$n_e = \frac{315^2}{13017} = 7,62 = 7 \text{ (шт.)}.$$

Із [1] визначаємо $K_p = 1,84$ звідси:

$$P_p = 1,84 \cdot 37,31 = 68,65 \text{ (кВт)};$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 45,86 = 50,45 \text{ (кВар)};$$

$$S_p = \sqrt{68,65^2 + 50,45^2} = 85,19 \text{ (кВА)};$$

$$I_p = \frac{85,19 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 129,44 \text{ (А)}.$$

Всі розрахунки електричних навантажень мережі заносимо у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунки електричних навантажень мережі цеху

№	Назва	п	Р _{ном} кВт		Кв	tgφ	Р _{см}	Q _{см}	п·р _н ²	пс	Км	Р _м	Q _м	S _м	I _м	
			одн.	заг.								кВт	кВАР	кВА	А	
3	Вентилятор сушильної камери	1	45,5	45,5	0,17	1,17	7,74	9,04	2070,25							112,0
4	Конвеєр подачі цегли	1	45,5	45,5	0,3	1,33	13,65	18,20	2070,25							121,3
5	Конвеєр транспортування	1	45,5	45,5	0,35	1,17	15,93	18,62	2070,25							112,0
	Всього РП 1	3		136,5	0,27		37,31	45,86	6210,75	3	1,84	68,65	50,45	85,19	129,44	
6	Додатковий конвеєр	1	28,6	28,6	0,45	1,33	12,87	17,16	817,96							76,2
7	Нагнітач повітря для печі	1	45,5	45,5	0,4	1,33	18,20	24,27	2070,25							121,3
8	Насос циркуляції повітря	1	28,6	28,6	0,35	1,17	10,01	11,70	817,96							70,4
9	Насос водопостачання	1	32,5	32,5	0,35	1,17	11,38	13,30	1056,25							80,0
10	Вентилятор охолодження	1	19,5	19,5	0,35	1,17	6,83	7,98	380,25							48,0
11	Електродвигун змішувача	1	41,6	41,6	0,35	1,17	14,56	17,02	1730,56							102,4
12	Електродвигун преса	1	41,6	41,6	0,35	1,17	14,56	17,02	1730,56							102,4
	Всього по ГРП	10		315	0,22		88,40	108,45	8603,79	6	1,16	102,54	119,30	157,31	239,01	
1	Піч для випалу 1	1	65	65	0,4	1,33	26,00	34,67	4225,00							173,3
2	Піч для випалу 2	1	52	52	0,4	1,33	20,80	27,73	2704,00							138,6
	Всього цеху	12		491,4	0,35		172,51	216,71	21743,54	11	0,85	146,63	184,21	235,44	357,72	

2.1.2 Розрахунок навантажень підприємства

Розрахунок активної та реактивної потужності силового обладнання підприємства, розраховуємо методом коефіцієнта попиту за такими формулами:

$$P_C = K_{\Pi} \cdot P_H; \quad Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg} \varphi; \quad (2.10)$$

За допомогою методу коефіцієнта попиту було розраховано навантаження освітлювальних установок. Розрахункова потужність електричного освітлення обчислюється за формулою:

$$P_O = P_{\text{Пит.О}} \cdot K_{\text{ПО}} \cdot K_{\text{ПРА}} \cdot F; \quad (2.11)$$

$$Q_O = P_O \cdot \operatorname{tg} \phi_O; \quad (2.12)$$

де $P_{\text{ПІТ.О}}$ – питома густина освітлювального навантаження знаходиться в межах : 0,011-0,022 в залежності від приміщення;

$K_{\text{ПРА}}$ – коефіцієнт втрат потужності в пускорегулювальній апаратурі;

$K_{\text{ПО}}$ – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження;

F – площа цеху, м^2 .

$$K_{\text{ПО}} = \begin{cases} 0,95 - \text{великі виробничі приміщення;} \\ 0,8 - \text{порівняно невеликі виробничі приміщення;} \\ 0,6 - \text{склади, підстанції;} \\ 1,0 - \text{аварійне освітлення.} \end{cases} \quad (2.13)$$

$$K_{\text{ПРА}} = \begin{cases} 1,1 - \text{ДРЛ;} \\ 1,2 - \text{люмінесцентні – стартерні;} \\ 1,3 - 1,35 - \text{люмінесцентні – безстартерні.} \end{cases} \quad (2.14)$$

Розрахункові потужності дорівнюють сумі розрахункових потужностей силового та освітлювального навантажень:

$$P_p = P_c + P_o; \quad Q_p = Q_c + Q_o. \quad (2.15)$$

Розрахункові максимальні навантаження підприємства визначають з виразів:

$$P_{\text{р\sum}} = K_o \left(\sum_{i=1}^N P_{\text{pi}} + P_{\text{пцi}} + P_{\text{рз}} \right) + P_{\text{о\sum}}; \quad Q_{\text{р\sum}} = K_o \left(\sum_{i=1}^N Q_{\text{pi}} + Q_{\text{пцi}} + Q_{\text{рз}} \right). \quad (2.16)$$

де $P_{\text{pi}}, Q_{\text{pi}}$ – розрахункові максимальні навантаження ТП або цехів, кВт, кВар;

$P_{\text{пцi}}, Q_{\text{пцi}}$ – розрахункове максимальне навантаження загальноцехових ЕП;

N - число ТП або цехів;

K_o – коефіцієнт одночасності максимумів навантаження визначається з [1];

$P_{\text{р\sum}}, Q_{\text{р\sum}}$ – розрахункові максимальні навантаження загальнозаводських ЕП та цехових трансформаторних підстанцій, кВт, кВар.

З [1, таблиця 1.4] визначаємо, що $K_o = 0,95$.

Сумарне навантаження підприємства:

$$S_{P\Sigma} = \sqrt{P_{P\Sigma}^2 + Q_{P\Sigma}^2} . \quad (2.17)$$

Для прикладу проведемо розрахунок для 2 корпусу:

$$P_c = 0,5 \cdot 100 = 50 \text{ (кВт)};$$

$$P_p^0 = 0,016 \cdot 1,2 \cdot 0,8 \cdot 171 = 2,63 \text{ (кВт)};$$

$$Q_p^0 = 2,63 \cdot 0,48 = 1,26 \text{ (кВАр)};$$

$$P_{p\Sigma} = P_{pc\Sigma} + P_{po\Sigma} = 52,63 \text{ (кВт)};$$

$$Q_{p\Sigma} = Q_{pc\Sigma} + Q_{po\Sigma} = 25,48 \text{ (кВАр)};$$

$$Sp = \sqrt{52,63^2 + 25,48^2} = 58,47 \text{ (кВА)}.$$

Використовуючи дані формули здійснюємо обчислення навантажень підприємства за допомогою Excel, а результати зводимо у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахунок навантажень підприємств

№	Назва цеху	Силове навантаження					Освітлювальне навантаження					Сумарне навантаження			
		P _н , кВт	K _п	cos j	tgj	P _с , кВт	Q _с , квар	F,м ²	P _{пит} , О Вт/ м2	K _п О	K _{пр} А	P _о , кВт	P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
1	Цех підготовки сировини	104	0,55	0,75	0,88	57,2	50,4	324	0,012	0,6	1,2	2,8	60,0	51,8	79,3
2	Цех формування цегли-сирцю	117	0,55	0,8	0,75	64,4	48,3	432	0,012	0,6	1,2	3,7	68,1	50,1	84,5
3	Цех сушіння	221	0,55	0,6	1,33	121,6	162,1	162	0,014	0,8	1,2	2,2	123,7	163,1	204,7
4	Цех випалу	455	0,6	0,6	1,33	273,0	364,0	567	0,012	0,8	1,2	6,1	279,1	366,9	461,0
5	Цех пакування	156	0,45	0,75	0,88	70,2	61,9	252	0,012	0,6	1,2	2,2	72,4	63,0	95,9
6	Цех транспортування сировини	92,3	0,35	0,75	0,88	32,3	28,5	216	0,016	0,9	1,2	3,7	36,0	30,3	47,1
7	Цех підготовки допоміжних матеріалів	65	0,35	0,75	0,88	22,8	20,1	252	0,012	0,6	1,2	2,2	24,9	21,1	32,7
8	Цех технічного обслуговування	91			0,00	0,0	0,0	180	0,012	0,6	1,2	1,6	1,6	0,7	1,7
9	Цех адміністративних приміщень	182	0,55	0,75	0,88	100,1	88,3	189	0,016	0,9	1,2	3,3	103,4	89,8	137,0
10	Склад готової продукції	5,2	0,55	0,75	0,88	2,9	2,5	135	0,012	0,6	1,2	1,2	4,0	3,1	5,1
11	Цех вентиляції та кондиціонування	53,3	0,5	0,7	1,02	26,7	27,2	243,0	0,012	0,8	1,1	2,6	29,2	28,4	40,8
	Всього підприємства	1541,8				770,965	853,23	2952				31,473	763,8901	824,9203	1124,29

2.2 Вибір та розміщення підстанції

2.2.1 Вибір оптимальної напруги живлення

Вибір номінальної напруги компонентів електричної мережі є техніко-економічним завданням і має здійснюватися разом із розробкою схеми електропостачання шляхом аналізу можливих варіантів. Під час проєктування для визначення напруги ліній електропередачі може застосовуватися формула Стілла, відповідно до якої:

$$U_{\text{л}} = 1000 / \sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_p}} \text{ (кВ)}. \quad (2.18)$$

де P_p – розрахункова активна потужність;

N – кількість ліній електропередачі, шт;

L – довжина лінії, км.

Ця формула використовується для ліній невеликої протяжності (до 250 км) та передачі потужності до 60 МВт.

При обчисленні напруги за цією формулою отримуємо нестандартне значення. Для подальших розрахунків обираємо найближчі більшу та меншу стандартні напруги відносно значення, отриманого за формулою Стілла. Усі наступні розрахунки виконуємо для всіх відібраних варіантів стандартних напруг.

$$U_{\text{л}} = 1000 / \sqrt{\frac{500}{1,38} + \frac{2500}{0,764}} = 16,6 \text{ (кВ)}.$$

На підставі відомих рівнів напруги на районній підстанції та визначеної оптимальної величини нестандартної напруги для техніко-економічного аналізу обираємо два варіанти схеми зовнішнього електропостачання зі стандартними напругами 10 кВ і 35 кВ.

2.2.2 Техніко-економічне порівняння класів напруги живлення

Для виконання техніко-економічних розрахунків необхідно визначити витрати на капітальні вкладення для варіантів із вищою та нижчою номінальними напругами. З цією метою розрахуємо вартість кабелів, трансформаторів, річні експлуатаційні витрати та амортизацію.

Розрахунок капітальних вкладень проведемо та представимо результати у вигляді таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Розрахунок капітальних вкладень

Перелік елементів схем	Вартість одиниці	Варіант 1		Варіант 2	
		Кількість	Вартість	Кількість	Вартість
Лінії передачі, км					
35 кВ, кабельна	777,6	1,38	1073,088		0
10 кВ, кабельна	539,2			1,38	744,1
Всього по лініях			1073,088		744,1
Підстанції					
Спорудження ПС 35 кВ 630 МВ*А	472,78	1	472,78		
Спорудження ПС 10 кВ 630 МВ*А				1	325,56
Всього ПС			472,78		325,56
Всього			1545,868		1069,7

Визначимо річні витрати на технічне обслуговування, ремонт, амортизацію та втрати енергії. За допомогою Microsoft Office Excel проведемо необхідні розрахунки, а отримані дані узагальнимо в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Річні витрати на технічне обслуговування, ремонт, амортизацію та втрати енергії

Перелік поточних витрат	Варіанти	
	1	2
КЛ - 10кВ, 2,3% від К	24,60209	-
КЛ 35кВ, 2,3% від К	-	35,55
ПС 10 кВ, 4,3% від К	45,99521	-
ПС 35 кВ, 4,3% від К	-	66,47
Всього щорічні витрати на обслуговування, Во	70,5973	102
Амортизація, в тому числі:	-	-
КЛ - 10кВ, 4% від К	42,78624	-

КЛ 35кВ, 4% від К	-	61,83
ПС 10 кВ, 3,6% від К	38,50762	-
ПС 35 кВ, 3,6% від К	-	55,65
Всього щорічні витрати на амортизацію, Ва	81,29386	117,5
Втрати максимальної потужності, кВт	0,0334	0,024
Тариф на електричну енергію грн./кВт*год	6,5	5,05
Вартість втрат електроенергії	0,217	0,121
Всього щорічні витрати, В	152,1	219,6

Зведені річні витрати будуть становитимуть:

$$Z_1 = 0,1 \cdot K_1 + B_1 + P_c \cdot c \cdot T_M = 0,1 \cdot 1069,656 + 152,1 + 345,67 \cdot 6,5 \cdot 3000 = 6740824 \text{ (тис.грн.)}; \quad (2.19)$$

$$Z_2 = 0,1 \cdot K_2 + B_2 + P_c \cdot c \cdot T_M = 0,1 \cdot 1545,868 + 219,6 + 345,67 \cdot 5,05 \cdot 3000 = 5237275 \text{ (тис.грн.)}; \quad (2.20)$$

За результатами розрахунків варіант із напругою 35 кВ є економічно вигіднішим. Однак, враховуючи наявність діючих підстанцій 10 кВ поблизу підприємства, приймаємо рішення організувати електропостачання підприємства на напрузі 10 кВ.

2.2.3 Вибір і розміщення цехових ТП

Визначимо сумарну повну розрахункову потужність всіх цехів, електричне обладнання яких живиться на напрузі 380 В:

$$S_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{11} \sqrt{P_{Pi}^2 + Q_{Pi}^2} = 1124,29 \text{ (кВА)}; \quad (2.21)$$

Обчислимо загальну площу всіх цехів:

$$F_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{11} F_i = 2952 \text{ (м}^2\text{)}; \quad (2.22)$$

Середнє питоме навантаження на 1 м² площі:

$$S_{\text{пит}} = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\Sigma}} = \frac{1124,29}{2952} = 0,19 \text{ (кВА/м}^2\text{)}; \quad (2.23)$$

$$S_{\text{НОМ.Т}} = \begin{cases} 630, 1000 \text{ кВ}\cdot\text{А} & \text{якщо } S_{\text{ПИТ}} < 0,2 \text{ кВ}\cdot\text{А}/\text{м}^2, \\ 1600 \text{ кВ}\cdot\text{А} & \text{якщо } S_{\text{ПИТ}} = 0,2 \div 0,3 \text{ кВ}\cdot\text{А}/\text{м}^2, \\ 2500 \text{ кВ}\cdot\text{А} & \text{якщо } S_{\text{ПИТ}} = 0,3 \div 0,4 \text{ кВ}\cdot\text{А}/\text{м}^2. \end{cases}$$

Відповідно до [1], за вказаної щільності навантаження слід застосовувати трансформатори з потужністю 630 або 1000 кВА.

Визначимо число підстанцій із двома трансформаторами:

$$N_{\text{ек}} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{\text{ек}} \cdot k_3} = \frac{1124,3}{2 \cdot 1000 \cdot (0,8 \div 0,85)} = 0,66 \div 0,7. \quad (2.24)$$

$$N_{\text{ек}} = \frac{1124,3}{2 \cdot 630 \cdot (0,8 \div 0,85)} = 1,0 \div 1,15.$$

де $k_3 = 0,8 \div 0,85$ - коефіцієнт завантаження трансформаторних підстанцій споживачів II – III категорії.

Оскільки це підприємство відноситься до споживачів II категорії електрозабезпечення, необхідно встановити три підстанції з двома трансформаторами.

Розподілимо підстанції між цехами та визначимо їхній реальний коефіцієнт завантаження. Результати розрахунків наведено у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Розподіл трансформаторних підстанцій 630 кВА між цехами

№ ТП	№ цеху	Назва цеху	Рр, кВт	Qр, кВАр	Sp, кВА	St, кВА	N, шт.	Kз, в.о.
ТП1	1	Цех підготовки сировини	60,00	51,79	79,26			
	2	Цех формування цегли-сирцю	68,08	50,05	84,50			
	3	Цех сушіння	123,73	163,11	204,73			
	4	Цех випалу	279,12	366,94	461,04			
	5	Цех пакування	72,38	62,96	95,93			
	6	Цех транспортування сировини	36,04	30,28	47,07			
	7	Цех підготовки допоміжних матеріалів	24,93	21,11	32,66			
	8	Цех технічного обслуговування	1,56	0,75	1,73			
	9	Цех адміністративних приміщень	103,37	89,85	136,96			
	10	Склад готової продукції	4,03	3,08	5,07			

11	Цех вентиляції та кондиціонування	29,22	28,42	40,76			
Всього по ТП1		802,44	868,34	1124,3	630	2	0,84

Таблиця 2.6 – Розподіл трансформаторних підстанцій 1000 кВА між цехами

№ ТП	№ цеху	Назва цеху	P _p , кВт	Q _p , кВАр	S _p , кВА	S _т , кВА	N, шт.	K _з , в.о.
ТП1	1	Цех підготовки сировини	60,00	51,79	79,26	1000	2	0,59
	2	Цех формування цегли-сирцю	68,08	50,05	84,50			
	3	Цех сушіння	123,73	163,11	204,73			
	4	Цех випалу	279,12	366,94	461,04			
	5	Цех пакування	72,38	62,96	95,93			
	6	Цех транспортування сировини	36,04	30,28	47,07			
	7	Цех підготовки допоміжних матеріалів	24,93	21,11	32,66			
	8	Цех технічного обслуговування	1,56	0,75	1,73			
	9	Цех адміністративних приміщень	103,37	89,85	136,96			
	10	Склад готової продукції	4,03	3,08	5,07			
	11	Цех вентиляції та кондиціонування	29,22	28,42	40,76			
Всього по ТП2			802,44	868,34	1124,3	1000	2	0,59

Вибір оптимальнішого варіанту спорудження ЦТП вибираємо за меншим значенням втрат енергії в ТП.

Таблиця 2.7 - Номінальні параметри трансформаторів

Марка	S _н , кВА	U _{вн} , кВ	U _{нн} , кВ	ΔP _{xx} , кВт	ΔP _к , кВт	I _{xx} , %	U _к , %
ТМ-1000/10	1000	10	0,4	2,1	10,5	1,4	5,5
ТМ-630/10	630	10	0,4	1,31	8,5	2	5,5

Система електрозабезпечення має радіальну конфігурацію. Від РП 10 кВ ТОВ "Вендичанська цегла" можливе живлення підстанцій підприємства.

Проведемо порівняння варіантів підстанцій із потужністю 630 кВА та 1000 кВА (рисунок 2.2).

Оптимальний варіант ТП характеризується найменшими приведеними витратами:

$$B_{\text{пр}} = (E_n + E_a)K + m\Delta P + Z_{\text{пер}}. \quad (2.25)$$

Збитки від переривання електропостачання не передбачаються оскільки ТП є двотрансформаторною.

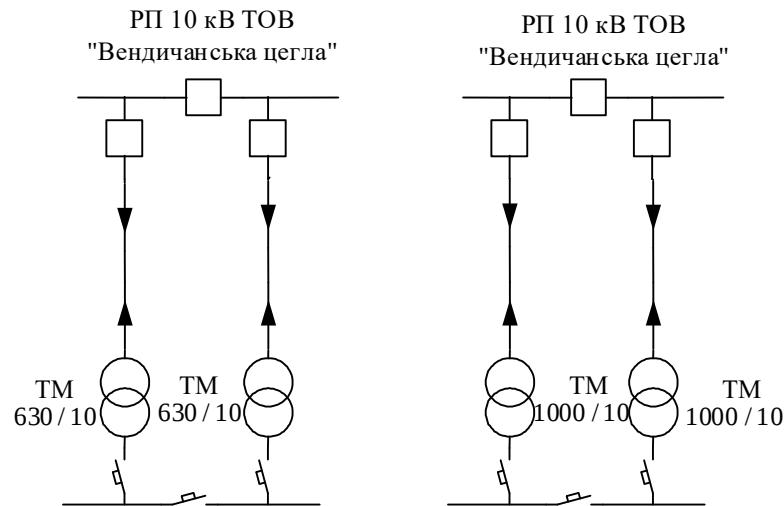


Рисунок 2.2 – Варіанти схем СЕП

Втрати потужності у трансформаторах [5]:

$$\Delta P_{\text{тр}} = n \cdot \Delta P_{\text{xx}} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{кз}} \left(\frac{S_M}{S_{\text{ном.т.}}} \right)^2. \quad (2.26)$$

Вартість річних втрат потужності визначають за діючими тарифами

$$m = t \cdot \tau. \quad (2.27)$$

Приймаємо, що $t = 8,0$ грн/кВт·год, а $T_M = 3000$ (двозмінний графік роботи). Тоді питома вартість річних втрат активної потужності

$$m = 6,0 \cdot \left(0,124 + \frac{3000}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 1574,8 \text{ (грн/кВт)}.$$

Втрати потужності 630 кВА:

$$\Delta P_{630} = 2 \cdot 1,5 + \frac{1}{2} \cdot 8 \cdot \left(\frac{1124,3}{630} \right)^2 = 17,59 \text{ (кВт)}.$$

Втрати потужності 1000 кВА:

$$\Delta P_{1000} = 2 \cdot 2,1 + \frac{1}{2} \cdot 10,5 \cdot \left(\frac{1124,3}{1000} \right)^2 = 11,54 \text{ (кВт)}.$$

Вартість спорудження ТП [3]:

$$K_{630} = 127620 \text{ (грн);}$$

$$K_{1000} = 142470 \text{ (грн)}.$$

Приведені річні витрати:

$$B_{\text{пр}630} = (0,1 + 0,063) \cdot 127620 + 1574,8 \cdot 17,59 = 48502,8 \text{ (грн);}$$

$$B_{\text{пр}1000} = (0,1 + 0,063) \cdot 142470 + 1574,8 \cdot 11,54 = 41395,8 \text{ (грн)}.$$

Варіант із ТП 2×1000 кВА є економічно вигіднішим. Таким чином, для електрозабезпечення цехів підприємства встановлено одну підстанцію з двома трансформаторами потужністю 1000 кВА.

Визначимо розташування цехових ТП, використовуючи відповідні формули:

$$X_{\text{ТП}} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}}}, \quad Y_{\text{ТП}} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^N P_{\text{Mi}}}. \quad (2.28)$$

Таблиця 2.8 – Координати розміщення ЕП

№	Цех	Т П	Pr, кВт	X, м	Y, м	Pr*X, кВт*м	Pr*Y, кВт*м
1	Цех підготовки сировини	1	60,00	12	91	719,99	5459,94
2	Цех формування цегли-сирцю	1	68,08	81	86	5514,68	5855,09
3	Цех сушіння	1	123,73	43	80	5320,27	9898,18
2	Цех випалу	1	279,12	35	56	9769,33	15630,92
5	Цех пакування	1	72,38	62	60	4487,39	4342,64
6	Цех транспортування сировини	1	36,04	84	53	3027,15	1909,99
7	Цех підготовки допоміжних матеріалів	1	24,93	41	32	1022,02	797,67
8	Цех технічного обслуговування	1	1,56	13	27	20,22	41,99
9	Цех адміністративних приміщень	1	103,37	34	9	3514,44	930,29

10	Склад готової продукції	1	4,03	53	9	213,40	36,24
11	Цех вентиляції та кондиціонування	1	29,22	12	91	350,59	2658,66
			ΣP_p , кВт	$\Sigma P_p \cdot X / \Sigma P_p$	$\Sigma P_p \cdot Y / \Sigma P_p$	$\Sigma P_p \cdot X$, кВт·м	$\Sigma P_p \cdot Y$, кВт·м
	Сумарно по ТП1		802,44	42,32	59,27	33959,48	47561,62

Оптимальні координати ТП збігаються з ЦЕН.

$$\sum_{i=1}^n P_{Mi} = 802,44 \text{ кВт};$$

$$\sum_{i=1}^n P_{Mi} \cdot X_i = 33959,48 \text{ (кВт} \cdot \text{м)};$$

$$\sum_{i=1}^n P_{Mi} \cdot Y_i = 47561,62 \text{ (кВт} \cdot \text{м)};$$

$$X_0 = \frac{33959,48}{802,44} = 42,32 \text{ (м)};$$

$$Y_0 = \frac{47561,62}{802,44} = 59,27 \text{ (м)}.$$

Рішення про розміщення ТП в центрі електричних навантажень необхідно погоджувати з технологами і будівельниками. Координати в яких буде розміщено ТП: $X = 304 \text{ (м)}$; $Y = 313 \text{ (м)}$.

Рішення щодо розташування ТП у центрі електричних навантажень слід узгоджувати з технологами та будівельниками. Координати для розміщення ТП: $X = 304 \text{ м}$, $Y = 313 \text{ м}$.

Для точного визначення місця розташування ТП складемо картограму навантажень і встановимо центр електричних навантажень підприємства. Картограму навантажень створюємо на кресленні генерального плану заводу. Навантаження кожного цеху зображаємо у вигляді кола, площа якого відповідає розрахунковій активній потужності.

Масштаб приймаємо на рівні $m_p = 0,05 \text{ кВт/м}^2$.

Визначимо радіуси кругів при даному масштабі за формулою:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{Pi}}{\pi \cdot m_P}}; \quad (2.29)$$

Сектор освітлювального навантаження цеху складає:

$$\alpha_i = \frac{360 \cdot P_{Oi}}{P_{Pi}}; \quad (2.30)$$

Розрахунки для всіх цехів здійснимо за допомогою Microsoft Office Excel, а результати зводимо до таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Дані для побудови картограми навантажень

№	Цех	X,м	Y,м	P _p , кВт	P _o , кВт	r, м	α°	d, м
1	Цех підготовки сировини	12	91	60,00	2,80	9,77	16,8	19,55
2	Цех формування цегли-сирцю	81	86	68,08	3,73	10,41	19,7	20,82
3	Цех сушіння	43	80	123,73	2,18	14,04	6,3	28,07
4	Цех випалу	35	56	279,12	6,12	21,08	7,9	42,16
5	Цех пакування	62	60	72,38	2,18	10,74	10,8	21,47
6	Цех транспортування сировини	84	53	36,04	3,73	7,58	37,3	15,15
7	Цех підготовки допоміжних матеріалів	41	32	24,93	2,18	6,30	31,4	12,60
8	Цех технічного обслуговування	13	27	1,56	1,56	1,57	360,0	3,15
9	Цех адміністративних приміщень	34	9	103,37	3,27	12,83	11,4	25,66
10	Склад готової продукції	53	9	4,03	1,17	2,53	104,3	5,06
11	Цех вентиляції та кондиціонування	12	91	29,22	2,57	6,82	31,6	13,64

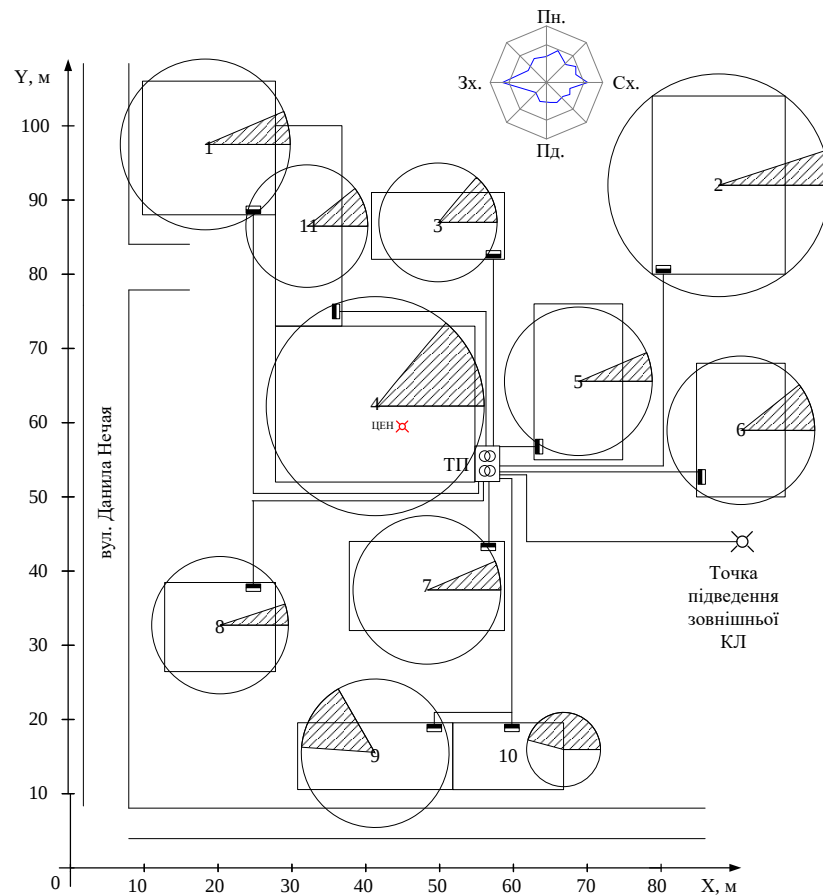


Рисунок 2.3 – Генеральний план підприємства

2.3 Розрахунок зовнішнього електропостачання

Електроживлення забезпечується від підстанції 110/10 кВ, розташованої за 1,38 км від заводу.

1 Відповідно до ПУЕ [3], усі електричні пристрої підбираються з урахуванням умов установлення, номінального струму й напруги, а також перевіряються на термічну та динамічну стійкість.

2 Високовольтні вимикачі обираються за номінальною напругою та розрахунковим струмом, враховуючи режими після аварій.

$$U_{\text{ном.в}} \geq U_{\text{ном.мережі}}; \quad (2.31)$$

$$I_{\text{ном.в}} \geq I_{\text{max}}. \quad (2.32)$$

Визначимо I_{max} для нормального режиму для ТП:

$$I_p = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1124,3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 39,8 \text{ (A)},$$

$$I_{p.a.} = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1124,3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 79,6 \text{ (A)},$$

$$I_{\text{max}} = \frac{1,3 \cdot S_{\text{н.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,3 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 75,1 \text{ (A)},$$

Для встановлення на стороні 10 кВ обираємо вакуумні вимикачі ВРС-10-20/630. Номінальний струм вимикачів $I_{\text{ном.в}} = 630 \text{ A} > I_{\text{м.ав}} = 79,6$ для всіх приєднань. Власний час відключення вимикача 0,5 с.

Для електрозабезпечення підприємства обираємо броньовані кабелі з ізоляцією зі зшитого поліетилену в ПВХ оболонці типу АПвЕгаПу-10, прокладені в траншеї. Підбір кабелю здійснюємо за допустимим струмом.

Розрахуємо переріз провідників для живлення ЦРП:

$$I_p \leq k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot I_{\text{доп}}; \quad (2.33)$$

$$79,6 \text{ (A)} \leq 1,03 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,99 \cdot 0,97 \cdot 129 = 126 \text{ (A)}.$$

де k_1 – поправочний коефіцієнт при температурі зовнішнього середовища;

k_2 – поправочний коефіцієнт в залежності від глибини прокладання;

k_3 – поправочний коефіцієнт в залежності від теплового опору ґрунту;

k_4 – поправочний коефіцієнт в залежності від відстані між фазами;

k_5 – поправочний коефіцієнт в залежності від прокладених поруч кабелів;

k_6 – поправочний коефіцієнт при прокладанні в трубах і каналах.

Для живлення ЦРП вибираємо кабель АПвЕгаПу-10 перерізом $3 \times 35 \text{ мм}^2$ з $I_{\text{доп}} = 129 \text{ A}$ [2].

2.3.1 Вибір схеми та основних елементів заводської мережі

Мережі заводу конструктивно виконані кабелями, прокладеними у траншеях. Однолінійна схема підприємства зображена на рисунку 2.4. У таблиці

2.10 наведено дані про типи автоматичних вимикачів та лінії електроживлення відповідно до підключень.

Таблиця 2.10 – Комутаційна апаратура та лінії живлення заводської мережі

Лінія	Sp, кВА	Ip, А	Вимикач	Iном, А	Провідник	S, мм ²	Iдоп, А
1	2	3	4	5	6	7	8
С-ТП	1124,3	39,8	ВРС-10-20/630 УЗ	630	АПвЕгаПу-10	3×35	129
ТП-РПН _{№1}	79,26	114,4	ЕВ 100/3L 125А 3р	125	АВВГ	3х35+1х16	144
ТП-РПН _{№2}	84,50	122,0	ЕВ 100/3L 125А 3р	125	АВВГ	3х35+1х16	144
ТП-РПН _{№3}	204,73	295,5	ЕВ2 400/3L 200А 3р	400	АВВГ	2·(3х120+1х70)	2·244=488
ТП-РПН _{№4}	230,52	332,7	ЕВ2 400/3L 200А 3р	400	АВВГ	2·(3х120+1х70)	2·244=488
ТП-РПН _{№4}	230,52	332,7	ЕВ2 400/3L 200А 3р	400	АВВГ	2·(3х120+1х70)	2·244=488
ТП-РПН _{№5}	95,93	138,5	ЕВ 100/3L 160А 3р	160	АВВГ	3х50+1х25	188
ТП-РПН _{№6}	47,07	67,9	ЕВ 100/3L 100А 3р	100	АВВГ	3х35+1х16	123
ТП-РПН _{№7}	32,66	47,1	ЕВ 100/3L 63А 3р	63	АВВГ	3х16+1х10	77
ТП-РПН _{№8}	1,73	2,5	ЕВ 100/3L 16А 3р	16	АВВГ	3х4+1х2,5	37
ТП-РПН _{№9}	136,96	197,7	ЕВ2 250/3L 220А 3р	220	АВВГ	3х120+1х70	244
ТП-РПН _{№10}	5,07	7,3	ЕВ 100/3L 16А 3р	16	АВВГ	3х4+1х2,5	37
ТП-РПН _{№11}	40,76	58,8	ЕВ 100/3L 63А 3р	63	АВВГ	3х16+1х10	77

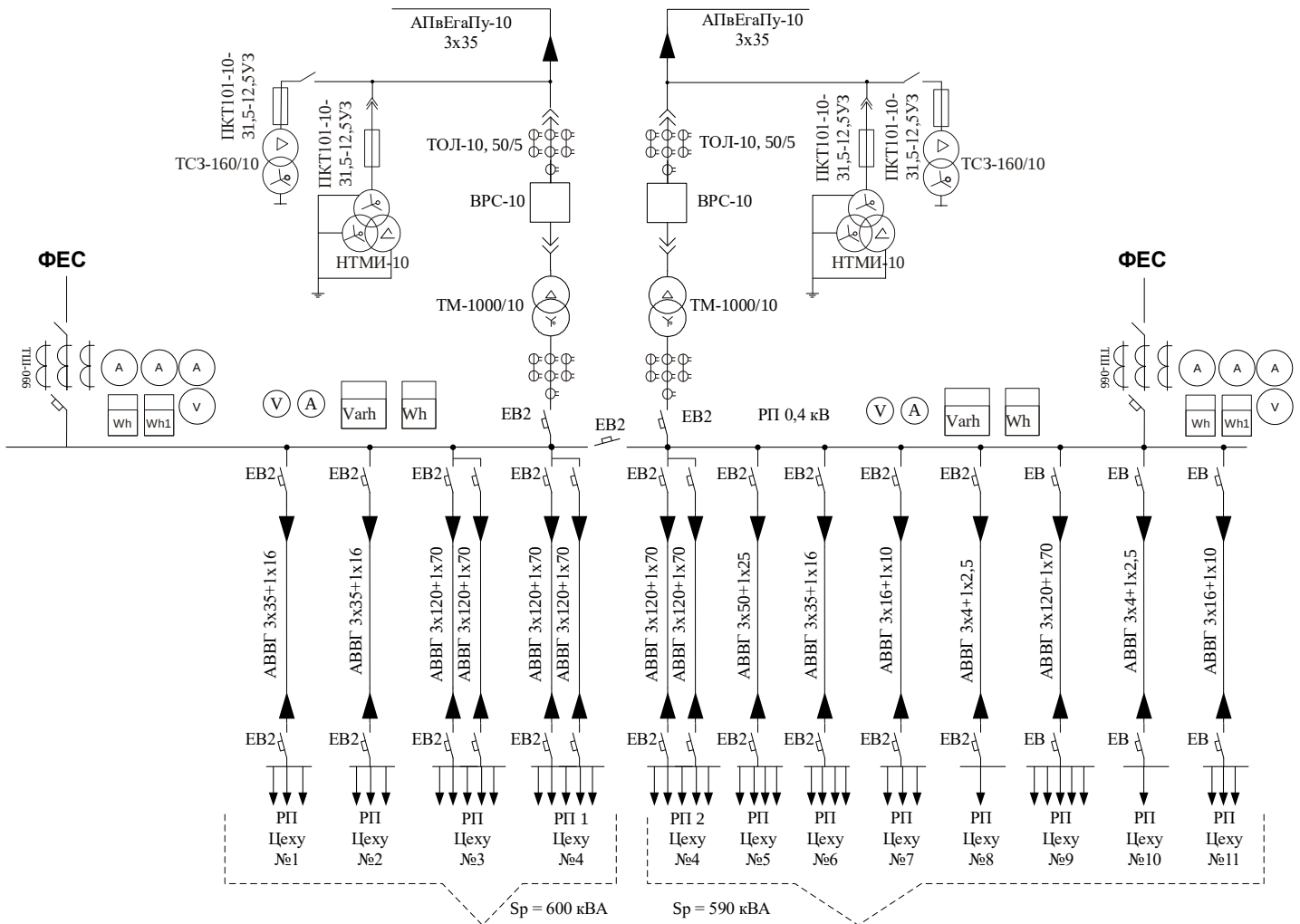


Рисунок 2.4 – Схема внутрішньозаводського електропостачання

2.3.2 Розрахунок струмів КЗ та перевірка вибраних вимикачів

У системах електроустановок можуть відбуватися різні типи коротких замикань (КЗ), що супроводжуються різким зростанням струму. Усе електрообладнання, застосоване в системах електрозабезпечення, мусить витримувати струми короткого замикання та підбиратися з урахуванням цих величин. Основними причинами появи струмів КЗ у мережі є: ушкодження ізоляції окремих елементів електроустановок, помилкові дії персоналу, що обслуговує, а також перекриття струмопровідних частин установок.

Розрахунок струмів короткого замикання проводиться для перевірки обраних вимикачів і кабелів. Для цього потрібно визначити: періодичну

складову струму трифазного КЗ на початковий момент, періодичну й аперіодичну складові в момент розмикання контактів, ударний струм КЗ, а також тепловий імпульс B_K .

Складаємо схему заміщення (рисунок 2.5).

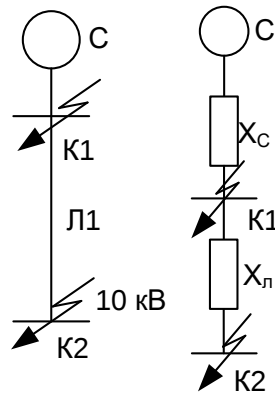


Рисунок 2.5 – Розрахункова схема і схема заміщення системи електропостачання

Визначаємо опори елементів, що приведені до базисних умов:

$$S_R = 1000; \quad S_{K3} = 58.$$

$$X_C = \frac{S_R}{S_K} = \frac{1000}{58} = 17,24 \text{ (в.о.)}. \quad (2.34)$$

$$X_{Л} = X_{\text{пит. ЖЛ}} \cdot l_{\text{ЖЛ}} \cdot \frac{S_R}{U_{\text{сер}}^2} = 0,068 \cdot 1,38 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,54 \text{ (в.о.)}. \quad (2.35)$$

Знаходимо результуючі опори:

$$X_{\Sigma c} = X_c + X_{Л}; \quad (2.36)$$

$$X_{\Sigma c} = 17,24 + 0,54 = 17,78 \text{ (в.о.)}.$$

Початкове діюче значення струму КЗ в точці К1:

$$I_R = \frac{S_R}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{сер}}}; \quad (2.37)$$

$$I_R = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55,05 \text{ (кА)};$$

$$I_{\text{по.с}} = \frac{E_c''}{X_c} \cdot I_R; \quad (2.38)$$

$$I_{\text{по.с}} = \frac{1}{17,24} \cdot 55,05 = 3,19 \text{ (кА)}.$$

Розрахуємо тепловий імпульс:

$$B_k = I_{\text{по.с}}^2 \cdot (t_{\text{від}} + T_{\text{асх}}); \quad (2.39)$$

$$B_k = 3,19^2 \cdot (0,115 + 0,03) = 1,48 \text{ (кА}^2\text{с)}.$$

Перевіримо живлячу лінію за умовою термічної стійкості:

$$S_{\text{ек}} \geq S_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_T}.$$

де $C_T = 90 \cdot A \cdot C^{0,5} / \text{мм}^2$ – для алюмінієвих кабелів.

$$S_{\text{min}} = \frac{\sqrt{1,48 \cdot 10^3}}{90} = 13,5 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

$$35 \text{ мм}^2 > 13,5 \text{ мм}^2.$$

Умова виконується, отже живлячі кабелі АПвПу-10 3х25 вибрані вірно.

Проведемо розрахунок КЗ у точці К2 для перевірки вимикачів 10 кВ.

Початкове діюче значення струму КЗ в точці К2:

$$I_{\text{по.с}} = \frac{E_c''}{X_{\Sigma c}} \cdot I_{\delta}; \quad (2.40)$$

$$I_{\text{по.с}} = \frac{1}{17,78} \cdot 55,05 = 3,1 \text{ (кА)}.$$

Періодична складова струму від системи не зміниться:

$$I_{\text{пт.с}} = I_{\text{по.с}} = 3,1 \text{ (кА)}.$$

Розрахуємо розрахунковий час початку розмикання:

$$t_{\text{від}} = t_{\text{рз.мін}} + t_{\text{В.В}}; \quad (2.41)$$

$$t_{\text{від}} = 0,01 + 0,105 = 0,115 \text{ (с)}.$$

Постійна часу аперіодичної складової: $T_{\text{ас}} = 0,03 \text{ (с)}.$

Аперіодична складова струму КЗ при $\tau = 0,05 \text{ с}:$

$$i_{ат_c} = \sqrt{2} \cdot I_{по.с} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_{ac}}}; \quad (2.42)$$

$$i_{ат_c} = \sqrt{2} \cdot 3,1 \cdot e^{-\frac{0,115}{0,03}} = 0,09 \text{ (кА)}.$$

Ударний струм КЗ:

$$i_{уд.с} = \sqrt{2} \cdot I_{по.с} \cdot \left(1 + e^{-\frac{\tau}{T_{ac}}} \right); \quad (2.43)$$

$$i_{уд.с} = \sqrt{2} \cdot 3,1 \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{0,03}} \right) = 7,53 \text{ (кА)}.$$

Розрахуємо тепловий імпульс:

$$B_k = I_{по.с}^2 \cdot (t_{від} + T_{асх}); \quad (2.44)$$

$$B_k = 3,1^2 \cdot (0,115 + 0,03) = 1,39 \text{ (кА}^2\text{с)}.$$

Згідно з нормами, високовольтні вимикачі мають проходити перевірку на комутаційну спроможність, динамічну та термічну стійкість до впливу струмів короткого замикання.

Перевірку обраних вимикачів і провідників продемонструємо на прикладі вимикача ВРС-10-20/630 УЗ. Результати занесено до таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 - Перевірка вимикача ВРС-10-20/630 УЗ

Умови вибору	Дані для вимикачів	Дані розрахунків
$I_{н.відк} \geq I_{пт}$	$I_{н.відк} = 10 \text{ кА}$	$I_{пт} = I_{пт.с} = 3,19 \text{ кА}$
$\sqrt{2}I_{н.відкл} \geq \sqrt{2}I_{пт.с} + i_{ат.с}$	$\sqrt{2}I_{н.відкл} = \sqrt{2} \cdot 10 = 14,1 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot 3,19 + 0,09 = 4,587 \text{ (кА)}$
$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 25 \text{ кА}$	$i_{уд} = i_{уд.с} = 7,53 \text{ (кА)}$
$I_{дин} \geq I_{по}$	$I_{дин} = 10 \text{ кА}$	$I_{по} = I_{по.с} = 3,19 \text{ (кА)}$
$B_k = I_{по}^2 t_{по}$	$I_T^2 t_T = 10^2 \cdot 4 = 400 \text{ (кА}^2\text{с)}$	$B_k = 1,48 \text{ (кА}^2\text{с)}$

Даний вимикач задовольняє усім умовам перевірки.

2.4 Розрахунок електропостачання цеху

2.4.1 Вибір схеми цехової мережі

Оскільки радіальні схеми гарантують високу надійність електрозабезпечення, для цехової мережі обираємо радіальну схему, зображену на рисунку 2.1.

На лініях встановлюватимуться автоматичні вимикачі від виробника ЕТІ, зокрема типів ЕВ та ЕВ2, оснащені напівпровідниковими або тепловими й електромагнітними розчіплювачами.

Відповідно до вимог ПУЕ застосовуємо такі методи прокладки кабельних ліній:

від ТП до РП та всіх електроприймачів використовуємо кабелі з алюмінієвими жилами марки АВВГ, прокладені відкрито. Переріз кабелю визначається за допустимим струмом залежно від точки приєднання.

2.4.2 Вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників цехової мережі

Під час підбору автоматичних вимикачів необхідно забезпечити виконання таких умов:

$$I_{н.розч} \geq K_{відс} \cdot I_p; \quad (2.45)$$

$$I_{с.в} = K_n \cdot I_{п}. \quad (2.46)$$

$$I_{н.відк} \geq I_{к.мах}^{(3)}. \quad (2.47)$$

де $I_{н.розч}$ - номінальний струм розчіплювача;

$K_{відс}$ - коефіцієнт відбудови, який встановлюється для забезпечення надійності захисту від перевантажень, запобігання його спрацюванню (або повернення) під час пуску чи самозапуску.;

$I_{с.в}$ - струм спрацювання відсічки;

$I_{м}$ - розрахунковий струм окремого електроприймача;

I_{π} - піковий (пусковий) струм;

K_n - коефіцієнт надійності відстроювання струмової відсічки.

Виберемо автоматичний вимикач для захисту ЕП-1.

Розрахунковий струм ЕП-1:

$$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta}; \quad (2.48)$$

$$I_p = \frac{65}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,6 \cdot 0,95} = 173,3 \text{ (A)}.$$

Пусковий струм визначимо наближено, в залежності від типу приводу:

$$I_p = \begin{cases} 5 \cdot I_p & \text{— для АД з КЗ ротором чи СД;} \\ 2,5 \cdot I_p & \text{— для АД з ФР;} \\ 3 \cdot I_p & \text{— для ДПС та зварювальних Т – рів;} \end{cases} \quad (4.5)$$

$$I_{\pi} = 3 \cdot I_p = 3 \cdot 173,3 = 866,3 \text{ (A)}.$$

Для захисту ЕП-1 обираємо автоматичний вимикач із напівпровідниковими розчіплювачами. Визначимо номінальний струм розчіплювача та струм спрацьовування відсічки для ЕП-1:

$$I_{\text{н.розчип}} = 200 \text{ (A)} \geq 1 \cdot 173,3 \text{ (A)};$$

$$I_{\text{с.відс}} = 2500 \text{ (A)} \geq 2,1 \cdot 866,3 = 1820 \text{ (A)}.$$

На основі розрахованих значень струмів обираємо автоматичний вимикач EB2 250/3L 200A 3p серії економ із номінальним струмом вимикача 200 А, номінальним струмом розчіплювача 200 А та струмом спрацьовування відсічки 2000 А.

Подібним чином здійснюємо підбір автоматичних вимикачів для всіх інших споживачів цеху.

Захисні пристрої, що забезпечують захист РП-1, установлюються в розподільчому пристрої низької напруги трансформаторної підстанції.

Від ТП до РП-1 визначаємо переріз проводу за умовою:

$$I_{\text{доп}} \geq I_M = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{85,19}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 129,44 \text{ (A)}.$$

Обираємо кабель АВВГ перерізом (3х120+1х70), при прокладені відкрито, допустимий тривалий струм якого складає $I_{\text{доп}} = 244$ (А).

Від ТП до ЕП1 обираємо кабелі АВВГ (3х120+1х70). Допустимий тривалий струм складає $I_{\text{доп}} = 244$ (А).

Перевіряємо даний кабель за наступними умовами:

$$I_{\text{доп}} = 244 \geq I_{\text{М}} = 173,3 \text{ (А)};$$

$$I_{\text{доп}} = 244 \geq I_{\text{н.розчип}} = 200 \text{ (А)}.$$

Так само підбираємо переріз інших кабелів АВВГ, а результати розрахунків записуємо до таблиці 2.12.

Перевіримо втрати напруги на ЕП3:

$$\Delta U = \frac{P_{\text{Р}} \cdot R_{\text{ПІТ}} + Q_{\text{Р}} \cdot X_{\text{ПІТ}}}{U_{\text{Н}}} \cdot l; \quad (4.6)$$

$$\Delta U_{\text{ТП - РП-1}} = \frac{68,65 \cdot 0,32 + 50,45 \cdot 0,064}{380} 40 = 2,65 \text{ (В)},$$

$$\Delta U_{\text{РП1 - ЕП3}} = \frac{45,5 \cdot 0,62 + 45,5 \cdot 0,65 \cdot 0,0625}{380} 15 = 1,18 \text{ (В)},$$

$$U_{\text{ТП - ЕП3}} = 2,65 + 1,18 = 3,82 \text{ (В)}.$$

$$\Delta U_{\% \text{ТП - ЕП2}} = \frac{3,82}{380} 100\% = 1\% - \text{дана втрата напруги є допустима.}$$

Обираємо автоматичний вимикач для лінії від ТП до ГРП.

Згідно [4], с. 75 піковий струм визначаємо за формулою:

$$I_{\text{п}} = I_{\text{р}} - K_{\text{в}} \cdot I_{\text{н.макс}} + I_{\text{п.макс}}; \quad (2.49)$$

де $I_{\text{н.макс}}$, $I_{\text{п.макс}}$ - номінальний та піковий струми найбільш потужних електроприймачів,

$K_{\text{в}}$ - коефіцієнт використання найбільш потужного електроприймача.

$$I_{\text{п}} = I_{\text{М}} - K_{\text{в}} \cdot I_{\text{н.макс}} + I_{\text{п.макс}} = 129,44 - 0,3 \cdot 121,3 + 606,4 = 699,5 \text{ (А)}.$$

Обираємо для встановлення на лініях від ТП до РП-1 автоматичні вимикачі. Вибираємо селективний автоматичний вимикач ЕВ2 250/3L 200А 3р з номінальним струмом $I_{\text{ном.в}} = 200$ А і номінальним струмом розчіплювача

$I_{н.розч}=200$ А та струмом спрацювання відсічки 2500 А.

$$I_{н.розч} = 250 \geq K_{відс} I_M = 1 \cdot 129,44 \text{ (А)},$$

$$I_{с.в} = 2500 \geq K_H \cdot I_{II} = 2,1 \cdot 699,5 = 1466 \text{ (А)}.$$

Таблиця 2.12 – Розрахунок комутаційно-захисної апаратури та провідників цеху

Найменування ЕП	I_p , А	I_{II} , А	Тип АВ	$I_{ном}$, А	$I_{розч}$, А	$I_{св}$, А	Тип ЛЖ	S, мм ²	спос. прок.	$I_{доп}$, А
РП-1	129,44	699,5	ЕВ2 250/3L 200А 3р	200	200	2500	АВВГ	3х120+1х70	відкрито	244
РП-2	239,01	796,9	ЕВ2 400/3L 200А 3р	400	400	2500	АВВГ	3х185+1х120	відкрито	414
Вентилятор сушильної камери	112,0	559,8	ЕВ2 250/3L 125А 3р	125	125	1500	АВВГ	3х50+1х25	відкрито	143
Конвеєр подачі цегли	121,3	606,4	ЕВ2 250/3L 125А 3р	125	125	1500	АВВГ	3х50+1х25	відкрито	143
Конвеєр транспортування	112,0	559,8	ЕВ2 250/3L 125А 3р	125	125	1500	АВВГ	3х50+1х25	відкрито	143
Додатковий конвеєр	76,2	381,2	ЕВ2 250/3L 125А 3р	125	125	1500	АВВГ	3х50+1х25	відкрито	143
Нагнітач повітря для печі	121,3	606,4	ЕВ2 250/3L 125А 3р	125	125	1500	АВВГ	3х50+1х25	відкрито	143
Насос циркуляції повітря	70,4	351,8	ЕВ2 250/3L 125А 3р	125	125	1500	АВВГ	3х50+1х25	відкрито	143
Насос водопостачання	80,0	399,8	ЕВ2 250/3L 125А 3р	125	125	1500	АВВГ	3х50+1х25	відкрито	143
Вентилятор охолодження	48,0	239,9	ЕВ2 250/3L 125А 3р	125	125	1500	АВВГ	3х50+1х25	відкрито	143
Електродвигун змішувача	102,4	511,8	ЕВ2 250/3L 125А 3р	125	125	1500	АВВГ	3х50+1х25	відкрито	143
Електродвигун преса	102,4	511,8	ЕВ2 250/3L 125А 3р	125	125	1500	АВВГ	3х50+1х25	відкрито	143
Піч для випалу 1	173,3	866,3	ЕВ2 250/3L 200А 3р	200	200	2500	АВВГ	3х120+1х70	відкрито	244
Піч для випалу 2	138,6	693,0	ЕВ2 250/3L 200А 3р	200	200	2500	АВВГ	3х120+1х70	відкрито	244

2.4.3 Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В

Обчислення струмів короткого замикання здійснюється для оцінки відповідності захисних пристроїв вимогам комутаційної здатності.

Проведемо розрахунок струмів короткого замикання для ділянки, яка забезпечує живлення ЕП-2. Сформуємо розрахункову схему, зображену на рисунку 2.6.

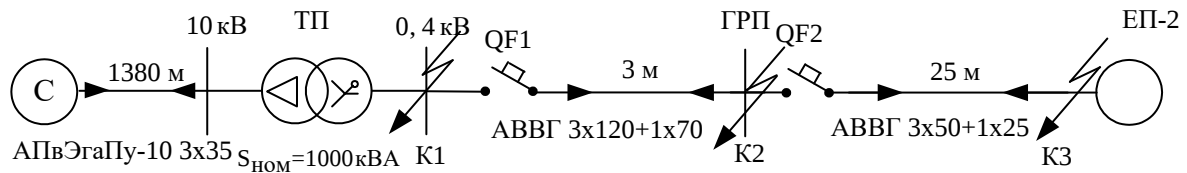


Рисунок 2.6 – Схема електропостачання ЕП-2

Знаходимо номінальний коефіцієнт трансформації:

$$t_{\Gamma} = \frac{U_{\text{ВН}}}{U_{\text{НН}}} = \frac{10}{0,4} = 25. \quad (2.50)$$

У разі живлення трансформатора напругою середнього або високого рівня, енергопостачальна організація зобов'язана надавати дані про характеристики підстанції, що забезпечує електропостачання, $I_K'' = 10$ кА.

Визначаємо опір системи:

$$Z_c = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_K''} \cdot \frac{1}{t_{\Gamma}^2} = \frac{1,1 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 10} \cdot \frac{1}{25^2} = 0,00101 \text{ (Ом)}. \quad (2.51)$$

де С - коефіцієнт напруги;

I_K'' – початкова сила струму КЗ;

U_n – номінальна напруга системи в точці з'єднання з мережею.

Оскільки живлення здійснюється на напрузі 10 кВ то активний і реактивний опір системи знаходиться:

$$X_c = 0,955 \cdot Z_c = 0,955 \cdot 1,016 = 0,97 \text{ (мОм)}; \quad (2.52)$$

$$R_c = 0,1 \cdot X_c = 0,1 \cdot 0,97 = 0,097 \text{ (мОм)}. \quad (2.53)$$

Визначимо опір трансформатора:

$$Z_T = \frac{U_{K\%}}{100} \cdot \frac{U^2}{S_{\text{ном.Т}}} = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{400^2}{1000 \cdot 10^3} = 5,5 \text{ (мОм)}. \quad (2.54)$$

Визначаємо опори ліній Л1, Л2, Л3:

$$R_{L1} = r_{\text{пит}} \cdot L_1 \cdot \frac{1}{t_{\Gamma}^2} = 0,769 \cdot 1380 \cdot \frac{1}{25^2} = 1,698 \text{ (мОм)}; \quad (2.55)$$

$$X_{L1} = x_{\text{пит}} \cdot L_1 \cdot \frac{1}{t_{\Gamma}^2} = 0,066 \cdot 1380 \cdot \frac{1}{25^2} = 0,146 \text{ (мОм)}; \quad (2.56)$$

$$Z_{Л2} = \sqrt{R_0^2 + X_0^2} \cdot L = \sqrt{0,258^2 + 0,0596^2} \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 7,94 \text{ (мОм)};$$

$$Z_{Л3} = \sqrt{R_0^2 + X_0^2} \cdot L = \sqrt{1,94^2 + 0,0675^2} \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 48,53 \text{ (мОм)}.$$

Вихідні дані для розрахунку струмів КЗ та коефіцієнта чутливості наведені в таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 - Вихідні дані для розрахунку струмів КЗ і коефіцієнта чутливості

Ділянка кола	L, м	R0, мОм/м	X0, мОм/м	R, мОм	X, мОм	Z, мОм	Zф-0, мОм
ТМ 630/10/0,4	-	-	-	0,7	3,36	5,5	140
Л1	1380	0,769	0,066	1,698	0,146	1,704	3,35
Л2	3	0,258	0,0596	0,774	0,1788	7,94	1,05
Л3	25	1,94	0,0675	48,5	1,6875	48,53	5,92

Розрахуємо значення струму при трифазному металічному КЗ за формулою:

$$I_{к.макс}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot U_H}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}}. \quad (2.57)$$

де Z_{Σ} – загальний повний опір елементів цехової мережі до точки КЗ.

- для точки КЗ

$$I_{к.макс}^{(3)} = \frac{1,1 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot (0,097 + 5,5 + 1,704 + 7,94 + 48,53)} = 3,78 \text{ (кА)}.$$

- для точки К2

$$I_{к.макс}^{(3)} = \frac{1,1 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot (0,097 + 5,5 + 1,704 + 7,94)} = 15,83 \text{ (кА)}.$$

- для точки К1

$$I_{к.макс}^{(3)} = \frac{1,1 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot (0,097 + 5,5 + 1,704)} = 33,05 \text{ (кА)}.$$

Перевіримо вибрані вимикачі на комутаційну здатність:

$$I_{cu} > I_{к.макс}^{(3)}. \quad (2.58)$$

QF1: EB2 200/3L 200A 3p з $I_{cu} = 36 \text{ (кА)}$.

$$I_{cu} = 36 \text{ (кА)} > I_{к.мах}^{(3)} = 33,05 \text{ (кА)}.$$

Для точки К1 умова перевірки комутаційної здатності виконується.

QF2: EB 250/3L 125A 3p з $I_{cu} = 23 \text{ (кА)}$.

$$I_{cu} = 23 \text{ (кА)} > I_{к.мах}^{(3)} = 15,83 \text{ (кА)}.$$

Для точки К2 вимога щодо комутаційної здатності дотримується.

Проведемо аналіз селективності роботи захисного обладнання.

Розрахуємо струм однофазного короткого замикання в точці КЗ, враховуючи перехідний процес:

$$I_{к2}^{(1)} = \frac{U_{ф.ном}}{\frac{Z_{\Sigma}^{(1)}}{3} + Z_{ф-н} \cdot 1}; \quad (2.59)$$

де $Z_{ф-н}$ - питомий опір петлі фаза-ноль;

$Z_{\Sigma}^{(1)}$ мОм – повний опір трансформатора струмам однофазного КЗ;

1 – відстань до місця КЗ.

Обчислимо струм однофазного КЗ на кінці лінії ТП-ГРП:

$$\begin{aligned} Z_{\Sigma}^{(1)} &= \sqrt{(2 \cdot R_T + R_{0T} + 3 \cdot R_{пер})^2 + (2 \cdot X_T + X_{0T})^2} = \\ &= \sqrt{(2 \cdot 0,7 + 0,7 + 3 \cdot 3,8)^2 + (2 \cdot 3,36 + 3,36)^2} = 16,84 \text{ (мОм)}; \\ I_{к2}^{(1)} &= \frac{220}{\frac{16,84}{3} + 1,05 \cdot 3} = 25,1 \text{ (кА)}. \end{aligned} \quad (2.60)$$

Обчислимо струм однофазного КЗ на затискачах ЕП1:

$$\begin{aligned} Z_T^{(1)} &= \sqrt{(2 \cdot R_T + R_{0T})^2 + (2 \cdot X_T + X_{0T})^2} = \\ &= \sqrt{(2 \cdot 0,7 + 0,7)^2 + (2 \cdot 3,36 + 3,36)^2} = 10,29 \text{ (мОм)}; \\ I_{к3}^{(1)} &= \frac{220}{\frac{10,26}{3} + 1,05 \cdot 3 + 5,92 \cdot 25} = 1,42 \text{ (кА)}. \end{aligned} \quad (2.61)$$

Перевіримо чи виконується умова:

$$I_{H.RO3Ч} \leq \frac{I_K^{(1)}}{3}; \quad (2.62)$$

Перевіримо чутливість захисту лінії ТП-ГРП:

$$I_{H.RO3Ч} = 200 \text{ (A)} \leq \frac{I_{KR2}^{(1)}}{3} = \frac{25100}{3} = 8366,7 \text{ (A)}.$$

Перевіримо чутливість захисту лінії ГРП- ЕП2:

$$I_{H.RO3Ч} = 63 \text{ (A)} \leq \frac{I_{KR2}^{(1)}}{3} = \frac{1420}{3} = 473,3 \text{ (A)}.$$

Вимоги до чутливості автоматичних вимикачів дотримані.

Виконаємо перевірку селективності роботи захисних пристроїв.

Селективність дії автоматичних вимикачів оцінюємо за такими умовами:

$$\begin{cases} I_{c.B1} > (1,3..1,5)I_{c.B2}; \\ t_{c.B1} = t_{c.B2} + \Delta t. \end{cases} \quad (2.63)$$

Проведемо аналіз селективності для вимикачів, які забезпечують захист ліній ТП – ГРП (вимикач 1) та РП-1 – ЕП-2 (вимикач 2) (характеристики вимикачів наведено в таблиці 2.12).

$$I_{c.B1} = 2500 \text{ (A)} > (1,3..1,5)1500 = 2000...2250 \text{ (A)}.$$

Оскільки вимикачі вищого ступеня обрано селективним $t_{c.B1} = 0,1 \text{ с}$, то умови селективності по часу теж забезпечується.

Карта селективності захисту.

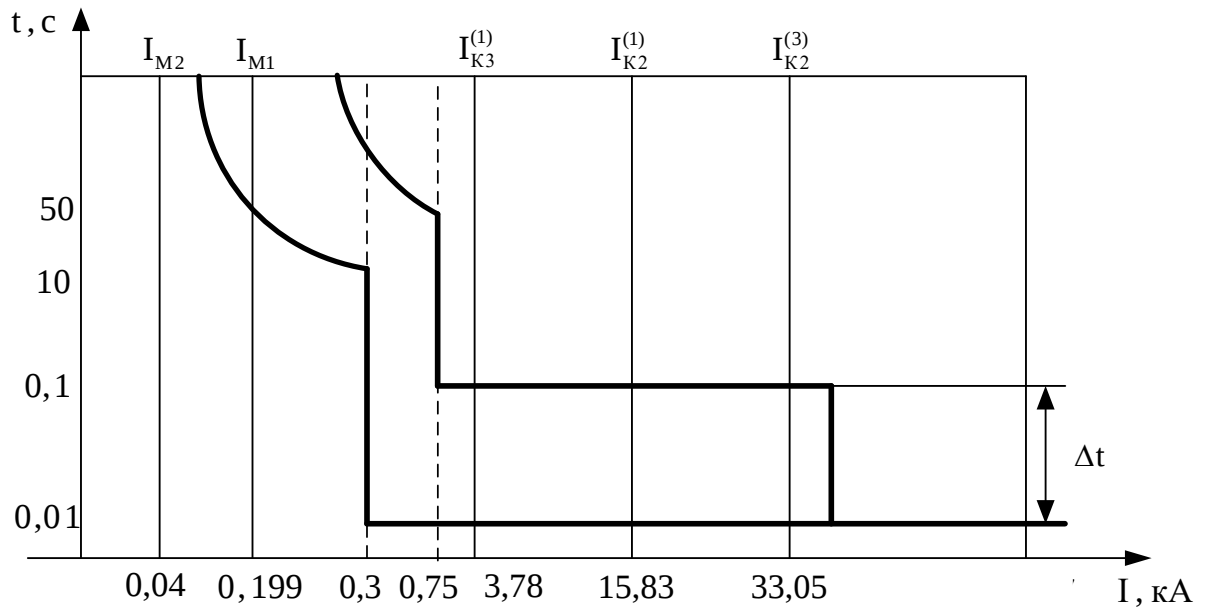


Рисунок 2.7 – Карта селективності захисту

3 МОЖЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

3.1 Загальні відомості про використання сонячної енергії

Сонячна енергія — це тепло та світло, які надходять до нас від найближчої зірки — Сонця. Використання цієї енергії сягає корінням у давні часи, коли люди застосовували сонячне тепло для обігріву житла чи приготування їжі. Однак справжній прорив стався у XX столітті, коли науковці навчилися перетворювати сонячну енергію на електрику.

Сучасні сонячні панелі — це плоскі темні модулі, які часто встановлюють на дахах будівель або на великих відкритих майданчиках. Вони вловлюють фотони сонячного світла і перетворюють їх в електричний струм завдяки фотоелектричному ефекту, принцип якого пояснив Альберт Ейнштейн у 1905 році. Під дією світла на напівпровідниковий матеріал панелі виникає рух електронів, що створює електричну енергію.

Інший спосіб використання сонячної енергії — це сонячні теплові установки. Вони призначені для нагрівання води чи повітря, що застосовується для опалення приміщень або забезпечення гарячого водопостачання. Такі системи оснащені колекторами, які поглинають сонячне тепло, концентрують його і передають у теплову систему для подальшого використання.

Сонячна енергія має низку переваг і певні обмеження. Головна її перевага полягає у відновлюваності та екологічній чистоті. Вона не продукує викидів парникових газів і не шкодить довкіллю, що робить її одним із найбільш екологічних джерел енергії. Водночас її продуктивність залежить від наявності сонячного світла, що знижує ефективність уночі або за похмурої погоди. Крім того, встановлення сонячних панелей може вимагати значних початкових інвестицій, хоча завдяки технологічним інноваціям їхня вартість поступово знижується.

Сонячна енергія відіграє важливу роль у створенні сталого енергетичного майбутнього. З кожним роком вона стає більш доступною та ефективною,

сприяючи зменшенню залежності від викопних джерел енергії та збереженню природного середовища.

3.2 Принцип роботи фотоелектричних систем

Сонячне світло, що складається з фотонів, потрапляє на сонячні панелі, де завдяки фотоелектричному ефекту перетворюється на електричний струм. Оскільки одна панель виробляє обмежену кількість енергії, їх об'єднують у сонячні батареї для підвищення продуктивності.

Енергія, отримана від панелей, є постійним струмом, тоді як більшість побутових і промислових пристроїв потребують змінного струму, сумісного з електромережею. Для цього використовують інвертор, який перетворює постійний струм на змінний, придатний для живлення техніки або передачі в електромережу.

Розглянемо основні типи сонячних електростанцій. Їх поділяють на три категорії: автономні, мережеві та гібридні.

Автономні сонячні станції використовують акумуляторні батареї для накопичення енергії. Удень сонячні панелі через контролер заряду поповнюють батареї, а інвертор перетворює накопичений постійний струм на змінний, забезпечуючи електрикою цілодобово. Такий струм може жити електромережу підприємства.

Автономні системи особливо цінні в місцевостях без доступу до централізованої електромережі або з частими перебоями в електропостачанні. Однак їхнє встановлення та обслуговування зазвичай коштують дорожче, ніж у мережевих станцій.

Мережеві сонячні системи працюють за принципом перетворення постійного струму, отриманого від сонячних панелей, на змінний за допомогою інверторів. Це дозволяє використовувати електроенергію безпосередньо в електромережі підприємства.

Якщо система виробляє більше електрики, ніж потрібно підприємству,

надлишок можна передати в загальну електромережу та продати за “зеленим” тарифом.

Ключова перевага мережевих систем — можливість отримувати електроенергію із зовнішньої мережі в періоди, коли сонячної енергії недостатньо, наприклад, узимку, під час тривалої хмарності чи в інших умовах із низькою генерацією.

Гібридні сонячні станції поєднують переваги мережевих і автономних систем. Вони використовують акумулятори для накопичення енергії та підключаються до зовнішньої мережі. За стабільної роботи мережі станція функціонує як мережева, а під час перебоїв переходить на автономний режим, використовуючи енергію з акумуляторів.

3.3 Впровадження фотоелектричних модулів на ТОВ «Вендичанська цегла»

Використання фотоелектричних модулів на ТОВ «Вендичанська цегла» може стати важливим кроком до підвищення енергоефективності підприємства та зменшення витрат на електроенергію. Виробництво цегли потребує значних енергетичних ресурсів, адже електроенергія витрачається на роботу печей, конвеєрних ліній, вентиляційних систем, компресорів та освітлення цехів. За розрахунками навантажень другого розділу, середньодобове навантаження на такому підприємстві може межах 1124,29 кВт, залежно від інтенсивності виробництва та сезонних особливостей.



Рисунок 3.1 – Встановлення ФЕС на території підприємства

Наприклад, у літні місяці, коли тривалість світлового дня більша, потреба в освітленні знижується, але печі та конвеєри працюють стабільно, створюючи постійне навантаження. Щоб точно визначити потреби підприємства, варто провести енергетичний аудит. Це дозволить не лише з'ясувати, які саме процеси споживають найбільше електроенергії, але й виявити можливості для економії, наприклад, шляхом заміни застарілого обладнання чи оптимізації графіків роботи. Такий аналіз допоможе правильно підібрати потужність фотоелектричної системи (ФЕС), щоб вона покривала значну частину потреб підприємства, не створюючи надлишкової генерації, яка може бути економічно не вигідною.

Вінницька область, де розташоване ТОВ «Вендичанська цегла», має сприятливі умови для використання сонячної енергії. Середня річна інсоляція тут становить 1100–1200 кВт·год/м², що є достатнім для ефективної роботи сонячних панелей. Наприклад, ФЕС потужністю 100 кВт за таких умов може генерувати 110–120 МВт·год електроенергії на рік, що здатне покрити +/-10% потреб підприємства. Важливо правильно розмістити сонячні панелі, щоб максимізувати їхню продуктивність. Оптимальний кут нахилу для панелей у цьому регіоні становить 30–35°, з орієнтацією на південь, щоб отримувати максимум сонячного випромінювання. Крім того, потрібно врахувати кліматичні особливості: Вінницька область має помірну вологість і періодичну хмарність, що може дещо знижувати продуктивність у певні сезони. Запиленість, спричинена виробничими процесами на підприємстві, також може впливати на панелі, тому регулярне очищення модулів стане частиною експлуатаційних витрат. Для розміщення ФЕС ідеально підходять дахи виробничих приміщень, які зазвичай мають велику площу. Наприклад, для системи потужністю 100 кВт потрібно приблизно 600–800 м², що реально для промислового об'єкта, такого як цегельний завод.

Технічна реалізація проєкту потребує ретельного підходу до вибору обладнання та конфігурації системи. На основі попереднього аналізу, для ТОВ «Вендичанська цегла» розглядаються два варіанти ФЕС, які відрізняються

потужністю, кількістю модулів та інверторною системою. Обидва варіанти використовують сучасні фотоелектричні модулі ASTRO ENERGY 480 W, які мають високу ефективність і надійність. Перший варіант передбачає встановлення одного мережевого інвертора Huawei SUN2000-100KTL-M2 і 220 модулів, що дає загальну потужність 105.6 кВт. Другий варіант базується на двох інверторах Huawei SUN2000-30KTL-M2 і 135 модулях, забезпечуючи потужність 64.8 кВт. Обидва варіанти розраховані на інтеграцію з мережею через гібридну систему, що дозволяє подавати надлишкову енергію в мережу за «зеленим тарифом» або накопичувати її в акумуляторах для використання в періоди пікового споживання. Система управління включає функцію MPPT (Maximum Power Point Tracking), яка оптимізує роботу панелей, забезпечуючи максимальну генерацію навіть при зміні погодних умов. Для моніторингу в першому варіанті використовується пристрій Huawei Smart Dongle 4G, а в другому – Huawei Smartlogger with PLC, що забезпечує детальніший контроль за роботою двох інверторів. Важливим елементом є захисні системи, такі як обмежувачі перенапруги та автоматичні вимикачі, які гарантують безпеку обладнання та персоналу.

Таблиця 3.1 – Перший варіант основних компонентів для встановлення ФЕС

№	Назва позиції	К-сть	Примітки
Устаткування для монтажу			
	Мережевий інвертор Huawei SUN2000-100KTL-M2	1 шт.	
	Кабель сонячний KBE red 1x6 mm ²	700 м.	
	Кабель сонячний KBE black 1x6 mm ²	700 м.	
	Трубка гофр d25 у/ф.	600 м.	
	Кліпса U-подібна d25 (+саморез)	300 шт.	
	Стяжка кабельна чорна 300/5 (100 шт.)	8 пак.	
	Конектор MC-4 (пара)	18 пар.	
	Фотоелектричний модуль ASTRO 480 W	220 шт.	
Каркас монтажний			
	Блок для монтажу на профнастил 400x30 мм	460 шт.	По 3 шт. на пан
	Заклепка монтажна 4,8x18	3200 шт.	По 4 шт. на бл.(1 на блок запас)
	Прижим крайній 30 мм.	40 шт.	

	Прижим міжпанельний 25 мм	420 шт.	
	Болт М8х60 з головкою під шестигранн.	460 шт.	
	Гайка М8	460 шт.	
	Скотч бітумний 50 мм.	8 шт.	
Захисний щит 0,4 кВ			
	Шафа удароміцна з АБС-пластика e.plbox.400.600.200.blank, 400х600х200мм, IP65	1 шт.	
	Автоматичний вимикач e.industrial 250SL 160А 3р	1 шт.	
	Шина busbar 250S компл.	2 компл.	
	Обмежувач перенапруги ETI 002440395 ETITEC C T2 275/20 (4+0) 4р	1 шт.	
	Наконечник мідний лудж. удл. М6	4 шт.	
	Розподільчий блок на DIN-рейку 160А синій	2 шт.	
	ПВЗ 1х6 мм.	2 м.	
	Шина Din-рейка	1 м.	
	Тримач запобіжника Eti 2р	20 шт.	
	Запобіжник Eti PV 16А	40 шт.	
	Кабельний ввід PG 63	1 шт.	
	Кабельний ввід PG 36	4	
	Дюбель з шурупом по дереву 180 мм.	5 шт.	
	Метизи	2 кг	
Заземлення			
	ПВЗ 1х16 мм.	25 м.	
	Дюбель-ялинка (d=16 мм ²)	30 шт.	
	Наконечник мідний лудж. удл. М16	2 шт.	
	Трубка гофр. стійка до УФ d20 мм.	35 м.	
	Кліпса U-подібна d20 (+саморез)	50 шт.	
	Комплект заземлення стержневого d16 3м FS	1 шт.	
	Трубка термоусаджувальна напівжорстка 22/6	1 шт.	
Ошинування інвертора			
	ПВЗ 1х35 мм.	16 м.	
	Наконечник мідний лудж. удл. М35	8 шт.	
	Трубка гофр. двостінна e.kog.tube. d63/52 з протяжкою (50м)	20 м.	
	Обойма для труб d63	25 шт.	
	Трубка термоусадж. напівжорстка SBRSM-NF 3:1 25,4, чорний	1 шт.	
	Конектор MC-4 (пара)	20 пар.	
	Кабель сонячний KBE red 1х6 мм ²	35 м.	
	Кабель сонячний KBE black 1х6 мм ²	35 м.	
	Наконечник втулковий 6 мм.	1 пак	
	ПВЗ 1х16 мм.	5 м.	
	Наконечник мідний лудж. удл. М16	2 шт.	
Силова лінія 0,4 кВ (до розподільчої шафи)			
	Хомут 1"(32-36) для труб М8/10*120 мм СТЛ	160 шт.	
	Провід самонесучий СІП 4х70	80 м.	
	Наконечник алюмінієвий А70	8 шт.	
	Трубка термоусаджувальна напівжорстка 25/12	1 шт.	
	Ізострічка 25 м. чорна	2 шт.	
	Трубка гофр. двостінна e.kog.tube. d63/52 з протяжкою (50м)	20 м.	

	Хомут 2" (60-64) для труб М8/10*120 мм СТЛ	40 шт.	
	Дюбель з шурупом по дереву	5 шт.	
Додаткове устаткування для інвертора			
	Пристрій 4G моніторингу Huawei Smart Dongle 4G	1 шт.	
	Лічильник Huawei CHiNT DTSU666-HW Smart meter / YDS60-80 Smart meter	1 шт.	
	Вимірювальний трансформатор струму 250/5 комплектний	3 шт.	
	Кабель вита пара FTP	60 м.	

Таблиця 3.2 – Другий варіант основних компонентів для встановлення ФЕС

№	Назва позиції	К-сть	Примітки
Устаткування для монтажу			
	Мережевий інвертор Huawei SUN2000-30KTL-M2	2 шт.	
	Кабель сонячний KBE red 1x6 mm ²	700 м.	
	Кабель сонячний KBE black 1x6 mm ²	700 м.	
	Трубка гофр d25 у/ф.	600 м.	
	Кліпса U-подібна d25 (+саморез)	300 шт.	
	Стяжка кабельна чорна 300/5 (100 шт.)	8 пак.	
	Конектор MC-4 (пара)	20 пар.	
	Фотоелектричний модуль ASTRO 480 W	135 шт.	
Каркас монтажний			
	Шпилька двохрізбова 10 x 200 зовн. шестигранник	920 шт.	
	Комплект металокаркасу для фотомодуля ANT RBS A1	135 шт.	1450 грн/панель
	Бітумний герметик	4 шт.	
Захисний щит 0,4 кВ			
	Шафа удароміцна з АБС-пластика e.pbox.600.800.200.blank, 600x800x200мм, IP65	1 шт.	
	Автоматичний вимикач e.industrial 250SL 160A 3p	1 шт.	
	Автоматичний вимикач e.industrial 100SL 80A 3p	2 шт.	
	Шина busbar 250S компл.	2 компл.	
	Шина busbar 100S компл.	2 компл.	
	Обмежувач перенапруги ETI 002440395 ETITEC C T2 275/20 (4+0) 4p	1 шт.	
	Наконечник мідний лудж. удл. М6	4 шт.	
	ПВЗ 1x35	2 м.	
	Наконечник мідний лудж d35	6 шт.	
	Розподільчий блок на DIN-рейку 160A синій	2 шт.	
	ПВЗ 1x6 мм.	2 м.	
	Шина Din-рейка	1 м.	
	Тримач запобіжника Eti 2p	18 шт.	
	Запобіжник Eti PV 16A	36 шт.	
	Кабельний ввід PG 63	1 шт.	
	Кабельний ввід PG 36	4	
	Дюбель з шурупом по дереву 180 мм.	5 шт.	
	Метизи	2 кг	

Заземлення			
	ПВ3 1x16 мм.	25 м.	
	Дюбель-ялинка (d=16 мм ²)	30 шт.	
	Наконечник мідний лудж. удл. M16	2 шт.	
	Трубка гофр. стійка до УФ d20 мм.	35 м.	
	Кліпса U-подібна d20 (+саморез)	50 шт.	
	Комплект заземлення стержневого d16 3м FS	1 шт.	
	Трубка термоусаджувальна напівжорстка 22/6	1 шт.	
Ошинування інверторів			
	ПВ3 1x16 мм.	32 м.	
	Наконечник мідний лудж. удл. M16	16 шт.	
	Трубка стійка до УФ d40	40 м.	
	Обойма для труб d40	50 шт.	
	Трубка термоусадж. напівжорстка SBRSM-NF 3:1 25,4, чорний	1 шт.	
	Конектор MC-4 (пара)	20 пар.	
	Кабель сонячний KBE red 1x6 mm ²	45 м.	
	Кабель сонячний KBE black 1x6 mm ²	45 м.	
	Наконечник втулковий 6 мм.	1 пак	
	ПВ3 1x16 мм.	5 м.	
	Наконечник мідний лудж. удл. M16	2 шт.	
Силова лінія 0,4 кВ (до розподільчої шафи)			
	Хомут 1"(32-36) для труб M8/10*120 мм СТЛ	160 шт.	
	Провід самонесучий СІП 4x70	80 м.	
	Наконечник алюмінієвий A70	8 шт.	
	Трубка термоусаджувальна напівжорстка 25/12	1 шт.	
	Ізострічка 25 м. чорна	2 шт.	
	Трубка гофр. двостінна е.кор. tube. d63/52 з протяжкою (50м)	20 м.	
	Хомут 2" (60-64) для труб M8/10*120 мм СТЛ	40 шт.	
	Дюбель з шурупом по дереву	5 шт.	
Додаткове устаткування для інвертора			
	Huawei Smartlogger with PLC	1 шт.	
	Лічильник Huawei CHiNT DTSU666-HW Smart meter / YDS60-80 Smart meter	1 шт.	
	Вимірювальний трансформатор струму 250/5 комплектний	3 шт.	
	Кабель вита пара FTP	60 м.	

Детальний аналіз оцінки вартості обох варіантів наведено у додатку Г тому наводимо тільки результати капіталовкладень

Загальна сума для Варіанту 1: 120 000 + 28 000 + 28 000 + 6000 + 1500 + 1200 + 1800 + 990 000 + 23 000 + 3200 + 1200 + 10 500 + 2300 + 920 + 1600 + 3000 + 5000 + 2000 + 4000 + 80 + 1000 + 40 + 50 + 3000 + 4000 + 150 + 400 + 25 + 200 + 800 + 150 + 70 + 350 + 250 + 2000 + 15 + 960 + 400 + 800 + 375 + 20 + 2000 +

$1400 + 1400 + 150 + 160 + 70 + 1600 + 10\,000 + 160 + 15 + 150 + 800 + 600 + 10 + 4000 + 6500 + 4500 + 900 = 1\,258\,483$ грн

Загальна сума для Варіанту 2: $120\,000 + 28\,000 + 28\,000 + 6000 + 1500 + 1200 + 2000 + 607\,500 + 9200 + 195\,750 + 1200 + 4000 + 5000 + 6000 + 2000 + 1600 + 4000 + 80 + 120 + 300 + 1000 + 40 + 50 + 2700 + 3600 + 150 + 400 + 25 + 200 + 800 + 150 + 70 + 350 + 250 + 2000 + 15 + 1024 + 560 + 600 + 500 + 20 + 2000 + 1800 + 1800 + 150 + 160 + 70 + 1600 + 10\,000 + 160 + 15 + 150 + 800 + 600 + 10 + 10\,000 + 6500 + 4500 + 900 = 1\,039\,502$ грн

Економічна доцільність впровадження фотоелектричної системи на ТОВ «Вендичанська цегла» залежить від кількох факторів: початкових витрат на обладнання та монтаж, вартості електроенергії для промислових споживачів, а також можливості отримання доходу від продажу надлишкової енергії за «зеленим тарифом». У 2025 році середня ціна електроенергії для промислових підприємств в Україні становить приблизно 0.12 євро за кВт·год (за курсом 40 грн/євро це близько 4.8 грн/кВт·год). Перший варіант ФЕС із потужністю 105.6 кВт здатний генерувати 115–125 МВт·год електроенергії на рік, що дозволяє заощадити 552 000–600 000 грн щорічно (13 800–15 000 євро). Початкові витрати на цей варіант становлять 1 258 483 грн, що еквівалентно приблизно 31 462 євро. Таким чином, термін окупності системи, якщо враховувати лише економію на електроенергії, складає 2.1–2.3 роки. Другий варіант із потужністю 64.8 кВт генерує 70–75 МВт·год на рік, що забезпечує економію 336 000–360 000 грн (8 400–9 000 євро). Його вартість нижча – 1 039 502 грн (приблизно 25 988 євро), а термін окупності становить 2.9–3.1 роки. Якщо підприємство зможе продавати надлишкову енергію за «зеленим тарифом» (наприклад, за ціною 0.1–0.15 євро/кВт·год), це значно скоротить термін окупності для обох варіантів, особливо для першого, який генерує більше потужності. Крім того, варто врахувати витрати на обслуговування: чищення панелей, перевірку інверторів, заміну дрібних компонентів. Для першого варіанту ці витрати будуть вищими через більшу кількість модулів, але різниця не є критичною, оскільки обидва варіанти використовують схожі технології.

Екологічні переваги впровадження ФЕС також відіграють важливу роль,

особливо в контексті сучасних вимог до сталого розвитку. Виробництво цегли традиційно пов'язане з високим енергоспоживанням, а електроенергія, отримана з викопного палива, сприяє значним викидам CO₂. Перший варіант ФЕС (105.6 кВт) дозволяє зменшити викиди вуглекислого газу на 100–110 тонн на рік, якщо порівнювати з електроенергією, отриманою від вугільних електростанцій. Другий варіант (64.8 кВт) знижує викиди на 60–65 тонн щорічно. Це не лише сприяє зменшенню екологічного навантаження, але й підвищує репутацію підприємства як екологічно відповідального, що може бути важливим для залучення партнерів чи інвесторів. Крім того, використання сонячної енергії зменшує залежність від викопного палива, що є стратегічно важливим в умовах нестабільних цін на енергоносії та посилення екологічних стандартів в Україні та ЄС.

Розглянемо особливості та рекомендації щодо двох варіантів встановлення ФЕС. Перший варіант із одним інвертором Huawei SUN2000-100KTL-M2 та 220 модулями ASTRO 480 W має вищу потужність (105.6 кВт), що робить його привабливим для підприємства з високим енергоспоживанням. Ця система здатна покрити леву частину власних потреб ТОВ «Вендичанська цегла», що особливо корисно в періоди пікового навантаження, наприклад, під час інтенсивної роботи печей. Використання одного потужного інвертора спрощує схему підключення та знижує складність управління, але має недолік: у разі поломки інвертора вся система припинить роботу, що може призвести до тимчасових втрат генерації. Монтажна конструкція на профнастилі є надійною, але потребує більшої кількості кріплень (460 блоків, 3200 заклепок), що збільшує час і витрати на встановлення. Вартість цього варіанту становить 1 258 483 грн, що на 218 981 грн більше, ніж у другого варіанту, але завдяки більшій генерації він забезпечує швидший термін окупності (2.1–2.3 роки). Цей варіант рекомендується, якщо підприємство прагне максимізувати економію на електроенергії та має достатньо вільної площі на дахах (600–800 м²). Однак потрібно врахувати вищі експлуатаційні витрати на чищення більшої кількості панелей і ризик залежності від одного інвертора.

Другий варіант із двома інверторами Huawei SUN2000-30KTL-M2 та 135

модулями ASTRO 480 W має меншу потужність (64.8 кВт), але вирізняється вищою надійністю. Використання двох інверторів дозволяє системі продовжувати роботу навіть у разі виходу з ладу одного з них, що знижує ризик простоїв. Генерація у 70–75 МВт·год на рік покриває приблизно 12–15% потреб підприємства, що все ще є значним внеском у зниження витрат. Монтажна конструкція на основі металокаркасу ANT RBS A1 є сучаснішою та простішою у встановленні порівняно з профнастилом першого варіанту, адже потребує менше кріплень (920 шпильок проти 3200 заклепок). Вартість другого варіанту становить 1 039 502 грн, що робить його економічнішим за початковими інвестиціями. Термін окупності дещо довший (2.9–3.1 роки), але нижчі витрати на монтаж і обслуговування компенсують цю різницю. Другий варіант також потребує менше площі (400–500 м²), що зручно, якщо дахові площі обмежені. Використання Smartlogger with PLC забезпечує детальніший моніторинг, що може бути корисним для оптимізації роботи системи при змінних навантаженнях. Цей варіант рекомендується, якщо пріоритетом є нижчі початкові витрати, вища надійність і простота експлуатації.

Обидва варіанти мають високу адаптивність до змінних навантажень (хрест-фактор 1–4), що відповідає потребам підприємства з різними режимами роботи обладнання. Вони також включають сучасні системи захисту, такі як обмежувачі перенапруги та автоматичні вимикачі, що гарантують безпеку персоналу та обладнання. Ефективність обох систем становить близько 95%, що відповідає сучасним стандартам фотоелектричних установок. Вибір між варіантами залежить від стратегічних цілей підприємства. Якщо ТОВ «Вендичанська цегла» прагне максимізувати генерацію енергії та швидше окупити інвестиції, перший варіант є кращим вибором, попри вищу вартість і залежність від одного інвертора. Якщо ж важливіші нижчі початкові витрати, вища надійність і компактність, другий варіант буде оптимальним. У будь-якому випадку, впровадження ФЕС дозволить підприємству не лише заощаджувати на електроенергії, але й зробити значний внесок у зменшення екологічного сліду, підвищивши свою конкурентоспроможність на ринку.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі розроблені заходи з охорони праці під час обслуговування системи електропостачання ТОВ «Вендичанська цегла». На електротехнічний оперативно-ремонтний персонал, який здійснює обслуговування обладнання системи електропостачання ТОВ «Вендичанська цегла», впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [19, 20]:

фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо);

хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил);

фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

4.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Живлення силового обладнання, яке використовується на підприємстві, та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В). Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах підвищеної вологості.

Під час ремонту та монтажу обладнання системи електропостачання кар'єру необхідно вживати заходів із запобігання впливу на працівників визначених вище небезпечних і шкідливих виробничих факторів. За наявності цих факторів, безпека праці під час монтажу та ремонту обладнання системи електропостачання повинна відповідати вимогам та заходам безпеки, що зазначені в нормативно-правовій документації з охорони праці, зокрема під час виконання робіт: в діючих електроустановках; на висоті; з застосуванням електроінструменту; зварюванні тощо.

Особливу увагу потрібно приділяти убезпеченню працівників під час виконання робіт в діючих електроустановках. Найбільш ефективним засобом захисту працівників є встановлення заземлень. Встановлювати заземлення на струмопровідні частини необхідно безпосередньо після перевірки відсутності напруги.

Переносні заземлення спочатку треба приєднати до заземлювального пристрою, а потім, після перевірки відсутності напруги, встановити на струмопровідні частини. Знімати переносне заземлення необхідно в зворотній послідовності: спочатку зняти його зі струмопровідних частин, а потім від заземлювального пристрою.

Встановлення та зняття переносних заземлень слід виконувати в діелектричних рукавичках із застосуванням в електроустановках понад 1000 В ізолювальної штанги. Закріплювати затискачі переносних заземлень слід цією ж штангою або безпосередньо руками в діелектричних рукавичках. Забороняється користуватися для заземлення провідниками, не призначеними для цього, а також приєднувати заземлення за допомогою скручування.

В електроустановках понад 1000 В (підстанції 10/0,4 кВ) заземлювати слід струмопровідні частини всіх фаз (полісів) відключеної для робіт ділянки з усіх боків, з яких може бути подана напруга, за винятком відключених для робіт збірних шин, на які достатньо встановити одне заземлення. Під час робіт на відключеному лінійному роз'єднувачі на проводи спусків з боку ПЛ, незалежно від наявності заземлювальних ножів, має бути встановлене таке додаткове

заземлення, яке не порушується під час виконання операцій з роз'єднувачем.

Заземлені струмопровідні частини мають бути відокремлені від струмопровідних частин, що перебувають під напругою, видимим розривом (вимкненими вимикачами, роз'єднувачами, відокремлювачами або вимикачами навантаження, знятими запобіжниками, демонтованими шинами або проводами). Безпосередньо на робочому місці заземлення додатково встановлюється в тих випадках, коли ці частини можуть опинитися під наведеною напругою (потенціалом), яка може викликати ураження струмом, або коли на них може бути подана напруга понад 42 В змінного і 110 В постійного струму від стороннього джерела.

В електроустановках, конструкція яких така, що встановлення заземлень небезпечне (наприклад, в деяких розподільчих шафах, КРУ окремих типів, збірках з вертикальним розташуванням фаз), під час підготовки робочого місця слід вжити додаткових заходів безпеки, що перешкоджають помилковому поданню напруги до місця роботи: приводи і вимкнені апарати замикаються на замок; на ножі або верхні контакти роз'єднувачів рубильників, автоматів тощо встановлюються гумові ковпаки або спеціальні накладки з ізоляційних матеріалів; запобіжники, ввімкнені послідовно з комутаційними апаратами, знімаються. Ці технічні заходи мають бути вказані в місцевій інструкції з експлуатації. В разі неможливості вжиття зазначених додаткових заходів мають бути від'єднані кінці лінії живлення – в РУ, на щиті, збірці або безпосередньо на місці роботи. Список таких електроустановок визначається і затверджується особою, відповідальною за електрогосподарство.

Встановлення заземлення не потрібне під час роботи на електроустаткуванні, якщо від нього з усіх боків від'єднані шини, проводи та кабелі, якими може бути подана напруга; якщо на нього не може бути подана напруга зворотною трансформацією або від стороннього джерела і за умови, що на цьому устаткуванні не наводиться напруга. Кінці від'єднаних кабелів в цьому разі мають бути замкнені накоротко і заземлені.

Під час робіт в РУ встановлювати заземлення на протилежних кінцях ліній,

що живлять це РУ, не потрібно, крім випадків, коли під час проведення робіт необхідно знімати заземлення з виводів ліній.

В електроустановках до 1000 В під час робіт на збірних шинах РУ, щитів, збірок напруга з шин має бути знята і шини (за винятком шин, що виконані ізолюваним проводом) мають бути заземленими. Необхідність і можливість встановлення заземлення на приєднання цих РУ, щитів, збірок і підключеного до них устаткування визначає особа, яка видає наряд (розпорядження). В електроустановках напругою до 1000 В всі операції зі встановлення і зняття заземлень дозволяється виконувати одній особі з групою ІІІ з числа оперативних чи оперативно-ремонтних працівників. Встановлення переносних заземлень у цьому випадку проводиться з землі за умови застосування спеціальної ізолювальної штанги, якою можна не тільки встановлювати, але і закріплювати ці заземлення.

Допускається тимчасове зняття заземлень, встановлених під час підготовки робочого місця, якщо це вимагається характером робіт, що виконуються. Тимчасове зняття і повторне встановлення заземлень виконується оперативним працівником чи (під його наглядом) членом бригади з групою ІІІ. Дозвіл на тимчасове зняття заземлень, а також на виконання цих операцій керівником робіт, слід обумовлювати в рядку наряду «Окремі вказівки» з записом про те, де і з якою метою мають бути зняті заземлення.

4.1.2 Електробезпека

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам [22, 23]:

- 1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно: розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму КЗ. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні [24] встановлюють допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення. Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Па.

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	Середньої важкості Па	18-27	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний		17-23	До 75%	не більше 0,3

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено [25]:

1. Температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні допустимих параметрів мікроклімату не повинна перевищувати 2°C.

2. Якщо температура поверхонь вище або нижче допустимої температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1 м.

3. Для забезпечення нормованих значень швидкості руху повітря проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Робочою зоною вважається простір, який обмежений огорожуючими конструкціями виробничих приміщень, що мають висоту 2 м над рівнем підлоги або площини, на яких знаходяться місця постійного або непостійного

перебування працюючих. Склад повітря робочої зони залежить від складу атмосферного повітря і впливу на нього ряду шкідливих виробничих факторів, утворених в процесі трудової діяльності людини. Склад повітря залишається постійним. Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м^3 [24]. Нормовані параметри забруднення повітря в робочій зоні наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

Найменування речовини	ГДК, мг/куб.м		Клас небезпечності
	Максимальна разова	Середньодобова	
Оксид вуглецю		20	4
Пил нетоксичний	4	4	4

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця [25]. Нагромадження пилу глибиною в 1/8" у будь-якій області вказує на необхідність у вживанні заходів з очищення забруднених поверхонь. Потрібно підкреслити, що будь-яке нагромадження пилу може привести до загоряння. Чим дрібніше пил (менша зернистість), тим вище небезпека.

Тому необхідно здійснювати наступні заходи: очищувати металевий пил якнайчастіше, щодня протирати гарячі поверхні, при високих концентраціях пилу обробляти запилені поверхні по частинам. Низька вологість збільшує потенційну небезпеку, це повинне прийматися в увагу під час прибирання.

Планувати прибирання потрібно на час, коли устаткування вимкнене, зокрема в другу половину дня п'ятниці або на вихідні.

4.2.3 Виробниче освітлення

При поганому освітленні зростає потенційна небезпека помилкових дій і

нещасних випадків: 5% травм можна пояснити недостатнім освітленням, а у 20% випадків воно сприяло їх появі. Погане освітлення може призвести до професійних захворювань: погіршують загальне самопочуття, зменшують фізичну і розумову працездатність.

Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в». Допустимі рівні виробничого освітлення наведені в таблиці 4.3.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

Таблиця 4.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природнє Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	малий середній великий	світлий середній темний	400	200	4	2,4

Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості.

4.2.4 Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані

показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки».

Нормовані параметри виробничого шуму в робочій зоні наведено в таблиці 4.4.

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Таблиця 4.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно: безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі; для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

4.2.5 Виробнича вібрація

Вібрація відноситься до факторів, які мають велику біологічну активність. Як загальна, так і локальна вібрація несприятливо впливає на організм людини, викликає зміну у функціональному стані вестибулярного апарату, центральної нервової, серцево-судинної систем, погіршує самопочуття та може призвести до розвитку професійних захворювань.

У нашому цеху присутня вібрація типу – За. Тобто технологічна вібрація, яка діє на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання. Нормовані параметри виробничої вібрації в робочій зоні наведено в таблиці 4.5.

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено: динамічне погашення вібрації – приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи; зміна конструктивних елементів машин; застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

Таблиця 4.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація: на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	$\frac{1,3^*}{108}$	$\frac{0,45}{99}$	$\frac{0,22}{93}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	-	-	-	-
Локальна вібрація	-	-	$\frac{2,8}{115}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$

* В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, $\text{м/с} \cdot 10^{-2}$, в знаменнику – логарифмічні рівні вібрації, дБ.

4.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [29, 30]. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [31], за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [32].

Приміщення ТОВ «Вендичанська цегла», де здійснюється обслуговування системи електропостачання, за вибухонебезпечною та пожежонебезпечною відноситься до категорії Д – речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В, з зонами П-ІІІ (місця за межами приміщень, де зберігаються тверді горючі речовини).

Будівля характеризується ІІІ ступенем вогнестійкості.

До ІІІ ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1 (низької горючості), Г2 (помірної горючості). До елементів покриттів не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площад-ки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між поверхів (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, настли, прогони	балки, ферми, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються	

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в таблиці 4.7.

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 4.8 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 4.8. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських, сільськогосподарських будинків і споруд слід приймати за таблицею 4.8 (знаменник).

Таблиця 4.7 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	3	REI 45	2	2
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	3	REI 45	2	1

Таблиця 4.8 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будівель і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IV, V
III	8/9	8/12	10/15

На території ТОВ «Вендичанська цегла» встановлено 27 порошкових вогнегасників ВП-5(8).

ВИСНОВОК

У процесі виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи було вирішено всі поставлені завдання, що дозволило досягти конкретних результатів, спрямованих на оптимізацію системи електропостачання підприємства та підвищення його енергоефективності.

Проведено аналіз технологічних процесів та електроспоживання ТОВ «Вендичанська цегла». Встановлено, що підприємство характеризується високою енергоємністю через процеси подрібнення сировини, формування цегли-сирцю, сушіння та випалу. Зокрема, цех випалу (455 кВт) та цех сушіння (221 кВт) є основними споживачами електроенергії, що становить близько 50% загального навантаження підприємства (таблиця 1.1). Цей аналіз дозволив визначити ключові точки для впровадження енергоефективних рішень.

Виконано розрахунок електричних навантажень підприємства та окремих цехів. На основі даних таблиці 2.2 визначено сумарну номінальну потужність підприємства (763,89 кВт). Розрахунки врахували коефіцієнти використання та попиту, що забезпечило точне планування системи електропостачання для інтеграції фотоелектричних модулів.

Розроблено схему інтеграції фотоелектричних модулів у систему електропостачання. Запропоновано два варіанти: варіант 1 із встановленням 220 фотоелектричних модулів ASTRO 480 Вт (загальна потужність 105,6 кВт) та мережевим інвертором Huawei SUN2000-100KTL-M2, і варіант 2 із 135 модулями та двома інверторами Huawei SUN2000-30KTL-M2 (загальна потужність 64,8 кВт).

Розроблено рекомендації щодо забезпечення електробезпеки та охорони праці при експлуатації фотоелектричних систем. Для зниження впливу шуму та вібрації рекомендовано застосування звукопоглинальних матеріалів і віброзахисного обладнання, що відповідає нормам ДСН 3.3.6.037-99 та ДСН 3.3.6.039-99.

Результати роботи підтверджують, що інтеграція фотоелектричних

модулів у систему електропостачання ТОВ «Вендичанська цегла» забезпечує зниження енергетичних витрат, підвищення енергоефективності та надійності електропостачання, а також сприяє екологічній стійкості підприємства. Впровадження запропонованих рішень створює умови для економії ресурсів і зміцнення конкурентоспроможності підприємства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бурбело, М. Й. Розрахунок внутрішнього електропостачання : навчальний посібник / Бурбело М. Й. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 123 с.
2. Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання). – Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2017, 617с.
3. ДСТУ 3463-96: 1999. Керівництво з навантаження силових масляних трансформаторів. [Чинний від 01.01.1999]. Київ, 1999. 204 с. (Інфм. та документація).
4. Півняк Г. Г., Жежеленко І. В., Папайка Ю. А. Енергетична ефективність СЕП : монографія. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. 148 с.
5. СОУ НЕК 03.120.4-14:2021 Норми якості електричної енергії в магістральних та міждержавних електричних мережах НЕК Укренерго. [Чинний від 03.02.2021]. Науково-технічний центр електроенергетики «НЕК «Укренерго», 2021. 316 с. (Інформація та документація).
6. ДСТУ ІЕС/TR 60909-4:2008 (ІЕС/TR 60909-4:2000, IDT): 2008. Національний стандарт України. Струми короткого замикання в трифазних системах змінного струму. Частина 4. Приклади обчислення сили струму короткого замикання. . [Чинний від 01.01.2008]. Київ, 2008. 82 с. (Інформація та документація).
7. Камінський А. В. Математичне та комп'ютерне моделювання процесів оптимізації центрування електричних мереж : монографія / А. В. Камінський, Б. І. Мокін – Вінниця: УНІВЕРСУМ - Вінниця, 2005. –122с.
8. Бурбело, М. Й. Спеціальні питання електропостачання: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання / Бурбело М. Й. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 89 с.
9. Офіційний сайт ПАТ «Завод Південкабель». URL: <http://www.yuzhcable.info> (дата звернення: 17.11.2024).
10. Тарифи ПАТ "Вінницяобленерго" : веб-сайт. URL:

<http://www.voe.com.ua/consumers/individuals/fees> (дата звернення: 15.11.2021).

11. Трансформатори силові. URL: <http://www.budnet.com.ua/aboutcommodity.php?FirmCommodityID=4099> (дата звернення: 17.11.2024).

12. Силові вимикачі. URL: <http://www.budnet.com.ua/aboutcommodity.php?FirmCommodityID=4099> (дата звернення: 18.11.2024).

13. Посібник з монтажу «Фотоелектричні модулі», https://logicfox.info/manuals/LP/Solar_Panel/19825/LP_Solar_Module_Installation_Manual.pdf

14. Електронна книга. Сонячна енергія для початківців. <https://vipmart.com.ua/ua/a486669-elektronnaya-kniga-solnechnaya.html>

15. Пундєв В. О., Шевчук В. І., Шейко І. О. Шляхи підвищення ефективності й терміну експлуатації фотоелектричних модулів і фотоелектричних станцій / Інститут відновлюваної енергетики НАН України – Київ, 2021, <https://ve.org.ua/index.php/journal/article/download/298/219/>

16. Хоменко М. І. Моделювання впливу фотоелектричних станцій на навантаження локальних електричних систем // Енергетична стратегія. - 2021. - № 2. - С. 15-20.

17. Офіційний сайт ТОВ "Вендичанська цегла" [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://vin-ua.com/#about>.

18. Павленко В. М. Вплив фотоелектричних станцій на стійкість локальних електричних систем // Енергетика та раціоналізація виробництва. - 2023. - № 4. - С. 35-40.

19. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.

20. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->

21. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48644.

22. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

23. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

24. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

25. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

26. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

27. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

28. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

29. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.

30. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення.

31. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>.

32. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.

33. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні

вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf.

34. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А – ВИХІДНІ ДАНІ

На розробку системи електропостачання підприємства ТОВ
"Вендичанська цегла"

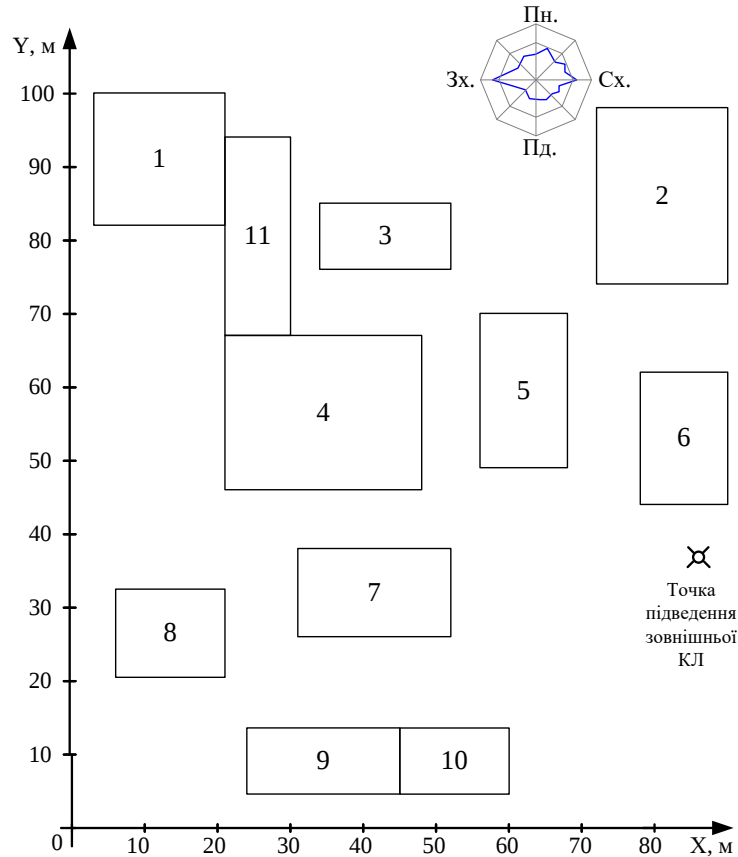


Рисунок А1– Генплан підприємства

Таблиця А1 – Відомості про електричні навантаження підприємства

№ на плані	Назва цеху	Р _н , кВт
1	Цех підготовки сировини	104
2	Цех формування цегли-сирцю	117
3	Цех сушіння	221
4	Цех випалу	455
5	Цех пакування	156
6	Цех транспортування сировини	92,3
7	Цех підготовки допоміжних матеріалів	65
8	Цех технічного обслуговування	91
9	Цех адміністративних приміщень	182
10	Склад готової продукції	5,2
11	Цех вентиляції та кондиціонування	53,3

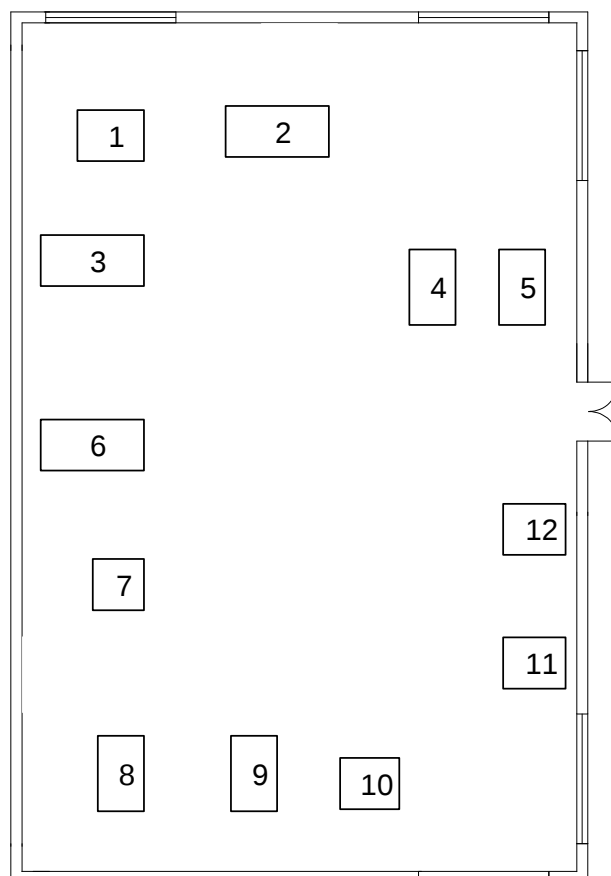


Рисунок 1.4 – План цеху випалу

Таблиця А2 – Відомості про електричні навантаження цеху випалу

№	ЕП	Р _н , кВт
1	Піч для випалу 1	65
2	Піч для випалу 2	52
3	Вентилятор сушильної камери	45,5
4	Конвеєр подачі цегли	45,5
5	Конвеєр транспортування	45,5
6	Додатковий конвеєр	28,6
7	Нагнітач повітря для печі	45,5
8	Насос циркуляції повітря	28,6
9	Насос водопостачання	32,5
10	Вентилятор охолодження	19,5
11	Електродвигун змішувача	41,6
12	Електродвигун преса	41,6

ДОДАТОК Б – ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ
ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Підвищення Енергоефективності енергопостачання ТОВ "Вендичанська цегла" з використанням фотоелектричних модулів»

Тип роботи: Бакалаврська кваліфікаційна робота
(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (вказати))

Підрозділ: Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту
(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри ЕСЕМ Степура О. В.
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

StrikePlagiarism	
Оригінальність	81,51
Загальна схожість	18,49

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- ☐ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи

Автор _____
(підпис)

Величко В. М.
(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Робота допущена до захисту

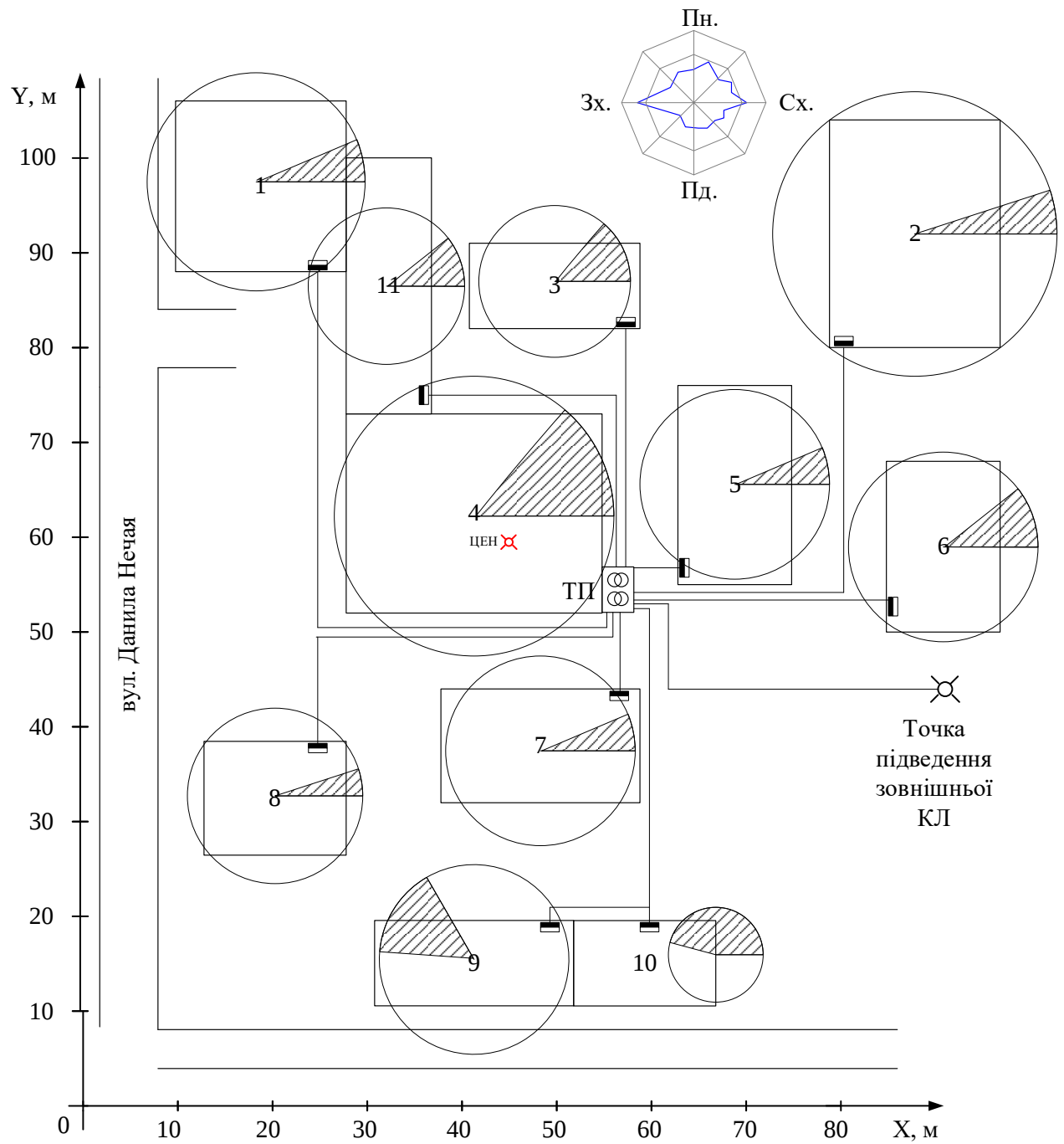
Особа, відповідальна за перевірку _____
(підпис)

Лобода Ю. В.
(прізвище, ініціали)

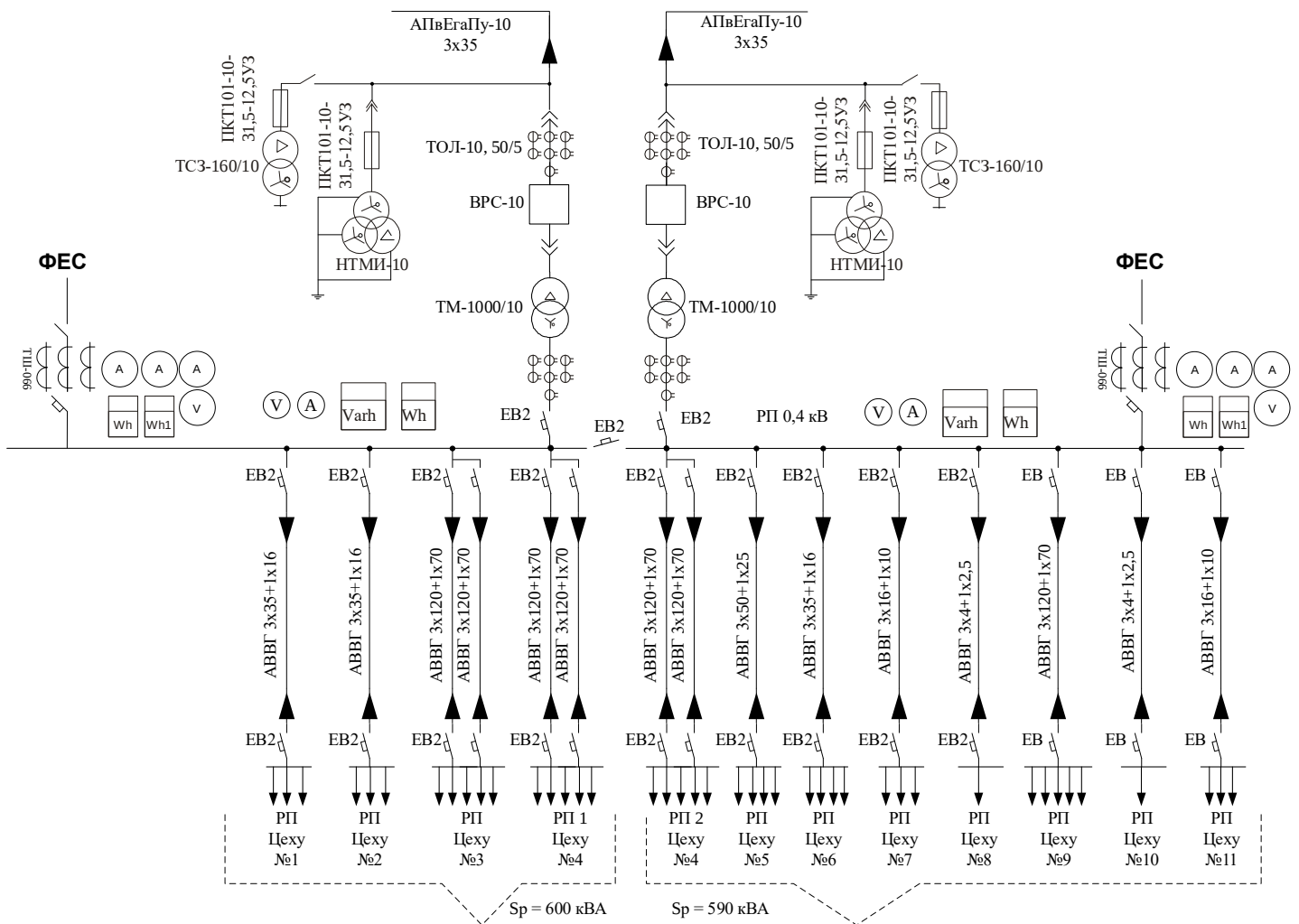
Експерт _____
(за потреби) (підпис) (прізвище, ініціали, посада)

ДОДАТОК В – ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ

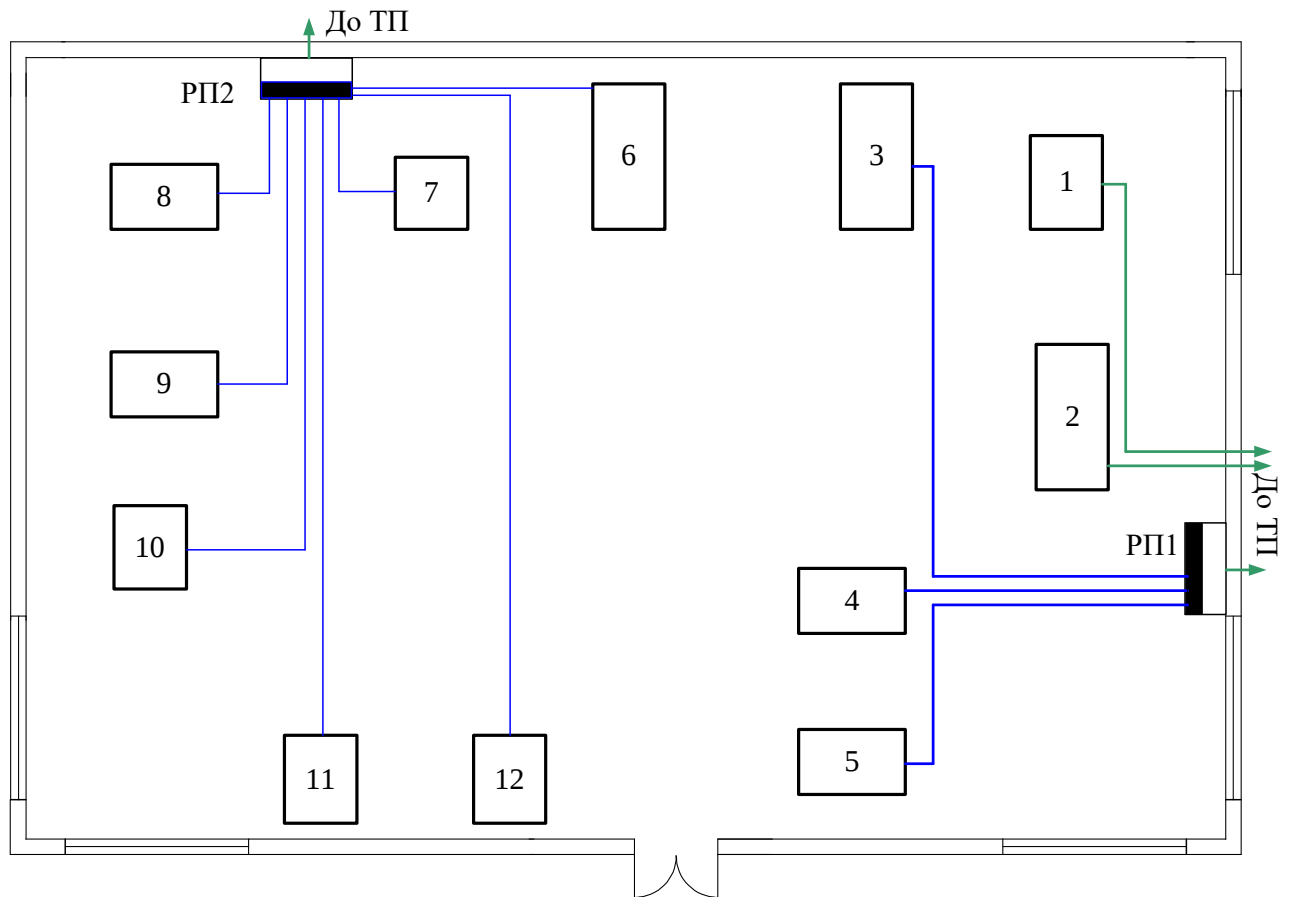
Картограма підприємства



Однолінійна схема живлення підприємства



План цеху



Розрахунково-монтажна таблиця

ТП	ЗАХИСТ					ЖИВЛЯЧА ЛІНІЯ					№ РП	п шт	ЗАХИСТ					ЖИВЛЯЧА ЛІНІЯ					СПОЖИВАЧІ			НАЗВА ЕП
	ТИП ВИМІКАЧА	І ном А	І доп А	І с. А	П м кВт	ПРОВІД		І ном А	І доп А	І с. А			МАРКА ПРОВІДУ (Спосіб прокладання- виробник)	І ном А	І доп А	І с. А	МАРКА ПРОВІДУ (Спосіб прокладання- виробник)	І ном А	І доп А	І с. А	Р м кВт	№ на плані				
						І доп А	І с. А																			
												1	EB2 250/3L	200	200	6	АВВГ 3х120+1х70	244	173.3	65	1	Піч для випалу 1				
												1	EB2 250/3L	200	200	6	АВВГ 3х120+1х70	244	138.6	52	2	Піч для випалу 2				
												1	EB2 250/3L	125	125	3	АВВГ 3х50+1х25	143	112	45.5	3	Вентилятор сушильної камери				
												1	EB2 250/3L	125	125	3	АВВГ 3х50+1х25	143	121	45.5	4	Конвеєр подачі пелли				
												1	EB2 250/3L	125	125	3	АВВГ 3х50+1х25	143	112	45.5	5	Конвеєр транспортування				
												1	EB2 250/3L	125	125	3	АВВГ 3х50+1х25	143	76.2	28.6	6	Додатковий конвеєр				
												1	EB2 250/3L	125	125	3	АВВГ 3х50+1х25	143	121	45.5	7	Нагнітан повітря для печі				
												1	EB2 250/3L	125	125	3	АВВГ 3х50+1х25	143	70.4	28.6	8	Насос циркуляції повітря				
												1	EB2 250/3L	125	125	3	АВВГ 3х50+1х25	143	80	32.5	9	Насос водопостачання				
												1	EB2 250/3L	125	125	3	АВВГ 3х50+1х25	143	48	19.5	10	Вентилятор охолодження				
												1	EB2 250/3L	125	125	3	АВВГ 3х50+1х25	143	102.4	41.6	11.12	Електродвигун змішувача				

ДОДАТОК Г - РОЗРАХУНОК КАПІТАЛОВКЛАДЕНЬ ОБОХ ВАРІАНТІВ

Варіант №1

Устаткування для монтажу

1. Мережевий інвертор Huawei SUN2000-100KTL-M2: 1 шт. $\times$ 120 000 грн (середня ціна для інвертора такої потужності) = 120 000 грн
2. Кабель сонячний KBE red 1 $\times$ 6 мм²: 700 м $\times$ 40 грн/м = 28 000 грн
3. Кабель сонячний KBE black 1 $\times$ 6 мм²: 700 м $\times$ 40 грн/м = 28 000 грн
4. Трубка гофрована d25 УФ: 600 м $\times$ 10 грн/м = 6000 грн
5. Кліпса U-подібна d25 (+саморіз): 300 шт. $\times$ 5 грн/шт. = 1500 грн
6. Стяжка кабельна чорна 300/5 (100 шт.): 8 уп. $\times$ 150 грн/уп. = 1200 грн
7. Конектор MC-4 (пара): 18 пар $\times$ 100 грн/пара = 1800 грн
- Фотоелектричний модуль ASTRO 480 W: 220 шт. $\times$ 4500 грн/шт. = 990 000 грн

Каркас монтажний

9. Блок для монтажу на профнастил 400 $\times$ 30 мм: 460 шт. $\times$ 50 грн/шт. = 23 000 грн
10. Заклепка монтажна 4,8 $\times$ 18: 3200 шт. $\times$ 1 грн/шт. = 3200 грн
11. Прижим крайній 30 мм: 40 шт. $\times$ 30 грн/шт. = 1200 грн
12. Прижим міжпанельний 25 мм: 420 шт. $\times$ 25 грн/шт. = 10 500 грн
13. Болт M8 $\times$ 60 з головкою під шестигранник: 460 шт. $\times$ 5 грн/шт. = 2300 грн
14. Гайка M8: 460 шт. $\times$ 2 грн/шт. = 920 грн
15. Скотч бітумний 50 мм: 8 шт. $\times$ 200 грн/шт. = 1600 грн

Захисний щит 0,4 кВ

16. Шафа удароміцна e.plbox.400.600.200.blank, IP65: 1 шт. $\times$ 3000 грн = 3000 грн
17. Автоматичний вимикач e.industrial 250SL 160A 3р: 1 шт. $\times$ 5000 грн = 5000 грн
18. Шина busbar 250S компл.: 2 компл. $\times$ 1000 грн/компл. = 2000 грн
19. Обмежувач перенапруги ETI 002440395 ETITEC C T2 275/20 (4+0) 4р: 1 шт. $\times$ 4000 грн = 4000 грн
20. Наконечник мідний луджений удл. M6: 4 шт. $\times$ 20 грн/шт. = 80 грн
21. Розподільчий блок на DIN-рейку 160A синій: 2 шт. $\times$ 500 грн/шт. = 1000 грн
22. ПВЗ 1 $\times$ 6 мм: 2 м $\times$ 20 грн/м = 40 грн
23. Шина DIN-рейка: 1 м $\times$ 50 грн/м = 50 грн
24. Тримач запобіжника ETI 2р: 20 шт. $\times$ 150 грн/шт. = 3000 грн
25. Запобіжник ETI PV 16A: 40 шт. $\times$ 100 грн/шт. = 4000 грн

- 26. Кабельний ввід PG 63: 1 шт. $\times$ 150 грн = 150 грн
- 27. Кабельний ввід PG 36: 4 шт. $\times$ 100 грн/шт. = 400 грн
- 28. Дюбель з шурупом по дереву 180 мм: 5 шт. $\times$ 5 грн/шт. = 25 грн
- 29. Метизи: 2 кг $\times$ 100 грн/кг = 200 грн

Заземлення

- 30. ПВЗ 1 $\times$ 16 мм: 25 м $\times$ 32 грн/м = 800 грн
- 31. Дюбель-ялинка (d=16 мм²): 30 шт. $\times$ 5 грн/шт. = 150 грн
- 32. Наконечник мідний луджений удл. M16: 2 шт. $\times$ 35 грн/шт. = 70 грн
- 33. Трубка гофрована стійка до УФ d20 мм: 35 м $\times$ 10 грн/м = 350 грн
- 34. Кліпса U-подібна d20 (+саморіз): 50 шт. $\times$ 5 грн/шт. = 250 грн
- 35. Комплект заземлення стержневого d16 3м FS: 1 шт. $\times$ 2000 грн = 2000 грн
- 36. Трубка термоусаджувальна напівжорстка 22/6: 1 шт. $\times$ 15 грн = 15 грн

Ошинування інвертора

- 37. ПВЗ 1 $\times$ 35 мм: 16 м $\times$ 60 грн/м = 960 грн
- 38. Наконечник мідний луджений удл. M35: 8 шт. $\times$ 50 грн/шт. = 400 грн
- 39. Трубка гофрована двостінна e.kor.tube d63/52: 20 м $\times$ 40 грн/м = 800 грн
- 40. Обойма для труб d63: 25 шт. $\times$ 15 грн/шт. = 375 грн
- 41. Трубка термоусаджувальна SBRSМ-NF 3:1 25,4, чорний: 1 шт. $\times$ 20 грн = 20 грн
- 42. Конектор MC-4 (пара): 20 пар $\times$ 100 грн/пара = 2000 грн
- 43. Кабель сонячний KBE red 1 $\times$ 6 мм²: 35 м $\times$ 40 грн/м = 1400 грн
- 44. Кабель сонячний KBE black 1 $\times$ 6 мм²: 35 м $\times$ 40 грн/м = 1400 грн
- 45. Наконечник втулковий 6 мм: 1 уп. $\times$ 150 грн = 150 грн
- 46. ПВЗ 1 $\times$ 16 мм: 5 м $\times$ 32 грн/м = 160 грн
- 47. Наконечник мідний луджений удл. M16: 2 шт. $\times$ 35 грн/шт. = 70 грн

Силова лінія 0,4 кВ (до розподільчої шафи)

- 48. Хомут 1" (32-36) M8/10 $\times$ 120 мм: 160 шт. $\times$ 10 грн/шт. = 1600 грн
- 49. Провід самонесучий СП 4 $\times$ 70: 80 м $\times$ 125 грн/м = 10 000 грн
- 50. Наконечник алюмінієвий A70: 8 шт. $\times$ 20 грн/шт. = 160 грн
- 51. Трубка термоусаджувальна напівжорстка 25/12: 1 шт. $\times$ 15 грн = 15 грн
- 52. Ізострічка 25 м, чорна: 2 шт. $\times$ 75 грн/шт. = 150 грн
- 53. Трубка гофрована двостінна e.kor.tube d63/52: 20 м $\times$ 40 грн/м = 800 грн
- 54. Хомут 2" (60-64) M8/10 $\times$ 120 мм: 40 шт. $\times$ 15 грн/шт. = 600 грн

55. Дюбель з шурупом по дереву: 5 шт. $\times$ 2 грн/шт. = 10 грн

Додаткове устаткування для інвертора

56. Пристрій 4G моніторингу Huawei Smart Dongle 4G: 1 шт. $\times$ 4000 грн = 4000 грн

57. Лічильник Huawei CHiNT DTSU666-HW Smart Meter / YDS60-80: 1 шт. $\times$ 6500 грн = 6500 грн

58. Вимірювальний трансформатор струму 250/5 комплектний: 3 шт. $\times$ 1500 грн/шт. = 4500 грн

59. Кабель вита пара FTP: 60 м $\times$ 15 грн/м = 900 грн

Загальна сума для Варіанту 1: 120 000 + 28 000 + 28 000 + 6000 + 1500 + 1200 + 1800 + 990 000 + 23 000 + 3200 + 1200 + 10 500 + 2300 + 920 + 1600 + 3000 + 5000 + 2000 + 4000 + 80 + 1000 + 40 + 50 + 3000 + 4000 + 150 + 400 + 25 + 200 + 800 + 150 + 70 + 350 + 250 + 2000 + 15 + 960 + 400 + 800 + 375 + 20 + 2000 + 1400 + 1400 + 150 + 160 + 70 + 1600 + 10 000 + 160 + 15 + 150 + 800 + 600 + 10 + 4000 + 6500 + 4500 + 900 = 1 258 483 грн

Варіант №2

Устаткування для монтажу

1. Мережевий інвертор Huawei SUN2000-30KTL-M2: 2 шт. $\times$ 60 000 грн/шт. = 120 000 грн

2. Кабель сонячний KBE red 1 $\times$ 6 мм²: 700 м $\times$ 40 грн/м = 28 000 грн

3. Кабель сонячний KBE black 1 $\times$ 6 мм²: 700 м $\times$ 40 грн/м = 28 000 грн

4. Трубка гофрована d25 УФ: 600 м $\times$ 10 грн/м = 6000 грн

5. Кліпса U-подібна d25 (+саморіз): 300 шт. $\times$ 5 грн/шт. = 1500 грн

6. Стяжка кабельна чорна 300/5 (100 шт.): 8 уп. $\times$ 150 грн/уп. = 1200 грн

7. Конектор MC-4 (пара): 20 пар $\times$ 100 грн/пара = 2000 грн

8. Фотоелектричний модуль ASTRO 480 W: 135 шт. $\times$ 4500 грн/шт. = 607 500 грн

Каркас монтажний

9. Цвях двогвинтовий 10 $\times$ 200 зовнішній шестигранник: 920 шт. $\times$ 10 грн/шт. = 9200 грн

10. Комплект металокаркасу для фотомодуля ANT RBS A1: 135 шт. $\times$ 1450 грн/шт. = 195 750 грн (вказано в документі)

11. Бітумний герметик: 4 шт. $\times$ 300 грн/шт. = 1200 грн

Захисний щит 0,4 кВ

12. Шафа удароміцна e.plbox.600.800.200.blank, IP65: 1 шт. $\times$ 4000 грн = 4000 грн

13. Автоматичний вимикач e.industrial 250SL 160A 3р: 1 шт. $\times$ 5000 грн = 5000 грн

14. Автоматичний вимикач e.industrial 100SL 80A 3р: 2 шт. $\times$ 3000 грн/шт. = 6000 грн

15. Шина busbar 250S компл.: 2 компл. $\times$ 1000 грн/компл. = 2000 грн

16. Шина busbar 100S компл.: 2 компл. $\times$ 800 грн/компл. = 1600 грн

17. Обмежувач перенапруги ETI 002440395 ETITEC C T2 275/20 (4+0) 4p: 1 шт. $\times$ 4000 грн = 4000 грн
18. Наконечник мідний луджений удл. M6: 4 шт. $\times$ 20 грн/шт. = 80 грн
19. ПВЗ 1 $\times$ 35 мм: 2 м $\times$ 60 грн/м = 120 грн
20. Наконечник мідний луджений d35: 6 шт. $\times$ 50 грн/шт. = 300 грн
21. Розподільчий блок на DIN-рейку 160A синій: 2 шт. $\times$ 500 грн/шт. = 1000 грн
22. ПВЗ 1 $\times$ 6 мм: 2 м $\times$ 20 грн/м = 40 грн
23. Шина DIN-рейка: 1 м $\times$ 50 грн/м = 50 грн
24. Тримач запобіжника ETI 2p: 18 шт. $\times$ 150 грн/шт. = 2700 грн
25. Запобіжник ETI PV 16A: 36 шт. $\times$ 100 грн/шт. = 3600 грн
26. Кабельний ввід PG 63: 1 шт. $\times$ 150 грн = 150 грн
27. Кабельний ввід PG 36: 4 шт. $\times$ 100 грн/шт. = 400 грн
28. Дюбель з шурупом по дереву 180 мм: 5 шт. $\times$ 5 грн/шт. = 25 грн
29. Метизи: 2 кг $\times$ 100 грн/кг = 200 грн

Заземлення

30. ПВЗ 1 $\times$ 16 мм: 25 м $\times$ 32 грн/м = 800 грн
31. Дюбель-ялинка (d=16 мм²): 30 шт. $\times$ 5 грн/шт. = 150 грн
32. Наконечник мідний луджений удл. M16: 2 шт. $\times$ 35 грн/шт. = 70 грн
33. Трубка гофрована стійка до УФ d20 мм: 35 м $\times$ 10 грн/м = 350 грн
34. Кліпса U-подібна d20 (+саморіз): 50 шт. $\times$ 5 грн/шт. = 250 грн
35. Комплект заземлення стержневого d16 3м FS: 1 шт. $\times$ 2000 грн = 2000 грн
36. Трубка термоусаджувальна напівжорстка 22/6: 1 шт. $\times$ 15 грн = 15 грн

Ошинування інверторів

37. ПВЗ 1 $\times$ 16 мм: 32 м $\times$ 32 грн/м = 1024 грн
38. Наконечник мідний луджений удл. M16: 16 шт. $\times$ 35 грн/шт. = 560 грн
39. Трубка стійка до УФ d40: 40 м $\times$ 15 грн/м = 600 грн
40. Обойма для труб d40: 50 шт. $\times$ 10 грн/шт. = 500 грн
41. Трубка термоусаджувальна SBRSM-NF 3:1 25,4, чорний: 1 шт. $\times$ 20 грн = 20 грн
42. Конектор MC-4 (пара): 20 пар $\times$ 100 грн/пара = 2000 грн
43. Кабель сонячний KBE red 1 $\times$ 6 мм²: 45 м $\times$ 40 грн/м = 1800 грн
44. Кабель сонячний KBE black 1 $\times$ 6 мм²: 45 м $\times$ 40 грн/м = 1800 грн
45. Наконечник втулковий 6 мм: 1 уп. $\times$ 150 грн = 150 грн

46. ПВЗ 1×16 мм: 5 м × 32 грн/м = 160 грн
47. Наконечник мідний луджений удл. М16: 2 шт. × 35 грн/шт. = 70 грн

Силова лінія 0,4 кВ (до розподільчої шафи)

48. Хомут 1" (32-36) М8/10×120 мм: 160 шт. × 10 грн/шт. = 1600 грн
49. Провід самонесучий СП 4×70: 80 м × 125 грн/м = 10 000 грн
50. Наконечник алюмінієвий А70: 8 шт. × 20 грн/шт. = 160 грн
51. Трубка термоусаджувальна напівжорстка 25/12: 1 шт. × 15 грн = 15 грн
52. Ізострічка 25 м, чорна: 2 шт. × 75 грн/шт. = 150 грн
53. Трубка гофрована двостінна е.кор. tube d63/52: 20 м × 40 грн/м = 800 грн
54. Хомут 2" (60-64) М8/10×120 мм: 40 шт. × 15 грн/шт. = 600 грн
55. Дюбель з шурупом по дереву: 5 шт. × 2 грн/шт. = 10 грн

Додаткове устаткування для інвертора

56. Huawei Smartlogger with PLC: 1 шт. × 10 000 грн (оцінка) = 10 000 грн
57. Лічильник Huawei CHiNT DTSU666-HW Smart Meter / YDS60-80: 1 шт. × 6500 грн = 6500 грн
58. Вимірювальний трансформатор струму 250/5 комплектний: 3 шт. × 1500 грн/шт. = 4500 грн
59. Кабель вита пара FTP: 60 м × 15 грн/м = 900 грн

Загальна сума для Варіанту 2: 120 000 + 28 000 + 28 000 + 6000 + 1500 + 1200 + 2000 + 607 500 + 9200 + 195 750 + 1200 + 4000 + 5000 + 6000 + 2000 + 1600 + 4000 + 80 + 120 + 300 + 1000 + 40 + 50 + 2700 + 3600 + 150 + 400 + 25 + 200 + 800 + 150 + 70 + 350 + 250 + 2000 + 15 + 1024 + 560 + 600 + 500 + 20 + 2000 + 1800 + 1800 + 150 + 160 + 70 + 1600 + 10 000 + 160 + 15 + 150 + 800 + 600 + 10 + 10 000 + 6500 + 4500 + 900 = 1 039 502 грн