

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”

Зав. кафедри ЕТС та ЕМ

к.т.н., професор

_____ Петро ПЛІШКОВ

“ ____ ” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ
ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

«Проектування системи електропостачання заводу з
виробництва будівельних блоків»

Виконав здобувач вищої освіти

III курсу, групи ЕЕ–23мб

ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

_____ Вадим КРАВЧЕНКО

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд.техн.наук,

_____ Катерина ПЕТРОВА

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Петро ПЛЄШКОВ

« » 2026 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ
ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Кравченка Вадима Миколайовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Проектування системи електропостачання заводу з виробництва будівельних блоків. Design of a power supply system for a building block production plant

2. Керівник роботи Петрова Катерина Григорівна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 29.05.2026 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Мета роботи полягає у розробці надійної, безпечної та економічно обґрунтованої системи електропостачання заводу будівельних блоків із комплексним впровадженням сучасних енергоощадних технологій для оптимізації режимів роботи технологічних електроприводів з підвищенням загальної енергоефективності підприємства.

Завдання: 1. Електричні навантаження в системі електропостачання. 2. Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки (головної знижувальної підстанції). 3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства. 4. Компенсація реактивної потужності 5. Трансформаторні підстанції 6. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання. 7. Спеціальний розділ. Висновки. Перелік посилань

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>	<i>доцент Н. Гарасьова</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів валіфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Електричні навантаження в системі електропостачання</i>	16.04.26	
2	<i>Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки (головної знижувальної підстанції)</i>	20.04.26	
3	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства</i>	27.04.26	
4	<i>Компенсація реактивної потужності</i>	04.05.26	
5	<i>Трансформаторні підстанції</i>	10.05.26	
6	<i>Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання</i>	15.05.26	
7	<i>Спеціальний розділ</i>	18.05.26	
8	<i>Оформлення пояснювальної записки КР</i>	25.05.26	
9	<i>Оформлення презентаційної частини КР</i>	28.05.26	

Дата видачі завдання

«13» квітня 2026 р.

Підпис керівника _____

Катерина ПЕТРОВА

Завдання прийнято до виконання

«13» квітня 2026 р.

Підпис здобувача _____

Вадим КРАВЧЕНКО

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 88 с.; 15 рис.; 23 табл.; 11 джерел.

Кравченко В.М. Проектування системи електропостачання заводу з виробництва будівельних блоків. – Рукопис.

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2026 рік.

Дана робота спрямована на розробку надійної, безпечної та економічно доцільної системи електропостачання заводу будівельних блоків, що супроводжується створенням і техніко-економічним обґрунтуванням комплексної стратегії енергозбереження для парку асинхронних електроприводів підприємства.

Виконано розрахунок електричних навантажень, розроблено багаторівневу систему компенсації реактивної потужності та обґрунтовано схему зовнішнього і внутрішньозаводського живлення від ГЗП 35/10 кВ із вибором силових трансформаторів, кабельних ліній та перевіркою комутаційного обладнання на дію струмів короткого замикання. Спеціальну частину присвячено модернізації відповідальних електромеханічних систем шляхом впровадження перетворювачів частоти для турбомеханізмів, автоматики перемикання «зірка-трикутник» для недовантажених конвеєрів та енергоефективних електродвигунів преміум-класу (IE3/IE4) для механізмів із пульсуючим навантаженням. Доведено, що комплексна реалізація цих заходів дозволяє підприємству щорічно заощаджувати понад 4,82 млн кВт·год електроенергії, забезпечуючи окупність загальних капітальних інвестицій у рекордно короткий термін — близько 2,5 місяців.

Ключові слова: система електропостачання, завод будівельних блоків, енергоефективність, компенсація реактивної потужності, енергоефективний двигун

ABSTRACT

Qualification work: 88 p.; 15 fig.; 23 tables; 11 sources.

Kravchenko B.M. Design of a power supply system for a building block production plant. – Manuscript.

Bachelor's Thesis in Specialty 141 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2026.

This project aims to develop a reliable, safe, and economically viable power supply system for a building blocks plant, accompanied by the creation and techno-economic justification of a comprehensive energy-saving strategy for the enterprise's asynchronous electric drive fleet.

The electrical loads have been calculated, a multilevel reactive power compensation system has been developed, and the external and internal power supply scheme from a 35/10 kV main step-down substation has been justified. This includes the selection of power transformers and cable lines, as well as the verification of switching equipment against short-circuit currents. A special section is dedicated to the modernization of critical electromechanical systems through the implementation of variable frequency drives (VFDs) for turbomachinery, automatic star-delta switching for underloaded conveyors, and premium energy-efficient electric motors (IE3/IE4) for mechanisms with pulsating loads. It has been proven that the comprehensive implementation of these measures enables the enterprise to save over 4.82 million kWh of electrical energy annually, ensuring a payback period for the total capital investments in a record-breaking time of approximately 2.5 months.

Keywords: power supply system, building blocks plant, energy efficiency, reactive power compensation, energy-efficient motor.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	6
ВСТУП	7
1. Електричні навантаження в системі електропостачання.....	13
1.1. Визначення силових електронавантажень у мережах до 1000 В	13
1.2. Визначення освітлювальних електронавантажень	16
1.3. Визначення електронавантажень у силових мережах вище 1000 В	20
1.4. Графіки електричних навантажень.....	25
2. Картограма електричних навантажень та місце розташування головної знижувальної підстанції (ГЗП)	30
3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства.....	33
3.1. Схема приєднання та вибір напруги живлення.....	33
3.2. Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання	37
4. Компенсація реактивної потужності.....	40
4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації.....	40
4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності	41
5. Трансформаторні підстанції	50
5.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій	50
5.2. Компоновка та місце розташування трансформаторних підстанцій	55
6. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електро- установок та силових мереж системи електропостачання	57

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	В. Кравченко				Проектування системи електропостачання заводу з виробництва будівельних блоків Design of a power supply system for a building block production plant	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	К. Петрова							
Н.контр.	К. Петрова							
Затв.	П. Плешков							

6.1. Розрахунок струмів КЗ.....	57
6.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж.....	60
6.3. Вибір електрообладнання.....	63
7. Модернізація електроприводних комплексів підприємства як основа підвищення їх енергоефективності.....	68
7.1. Дослідження режимів роботи та енергетичного балансу приводів заводу бетонних блоків.....	68
7.2. Енергозбереження в електроприводах вентиляційних систем пропарочних камер.....	70
7.3. Енергоощадження в електроприводах транспортерів та конвеєрів....	74
7.4. Модернізація електроприводів зі змінним та ударним навантаженням шляхом впровадження енергоефективних двигунів	78
7.5. Інтегральна оцінка рентабельності та термінів окупності проєктних рішень щодо модернізації електроприводів.....	80
ВИСНОВКИ	85
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	87

						Арк.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

Позначення / Термін	Розшифрування / Визначення
АД	Асинхронний двигун
БСК	Батарея статичних конденсаторів
ГЗП	Головна знижувальна підстанція
КЗ	Коротке замикання
ОПН	Обмежувач перенапруги
ПНР	Пусконаладжувальні роботи
ПЧ	Перетворювач частоти
ЧРЕП	Частотно-регульований електропривід
CAPEX	Капітальні витрати (від англ. Capital Expenditure)
IE3 / IE4	Міжнародні класи енергоефективності електродвигунів (Premium та Super Premium відповідно до стандарту International Efficiency)

						Арк.

ВСТУП

Кваліфікаційна робота присвячена проєктуванню сучасної, надійної та енергоефективної системи електропостачання заводу з виробництва будівельних блоків. Актуальність обраної теми обґрунтовується постійним зростанням попиту на якісні будівельні матеріали та широким впровадженням на підприємствах галузі автоматизованих вібропресувальних ліній, які вимагають безперебійного та високоякісного енергозабезпечення.

У межах проєкту виконано комплексний розрахунок електричних навантажень, обрано оптимальну напругу та конфігурацію розподільчої мережі, підібрано силові трансформатори, а також обґрунтовано заходи з компенсації реактивної потужності. Особливий акцент зроблено на забезпеченні надійності живлення ключових технологічних ланцюгів, адже раптові знеструмлення (наприклад, зупинка головних вібропресів або бетонозмішувачів із повним завантаженням) призводять до застигання напівсухої суміші в механізмах, масового браку продукції та значних фінансових збитків на відновлення обладнання.

Опис виробничих підрозділів підприємства:

- *Бетонозмішувальний цех (БЗУ).* Серце підготовки сировини. Тут відбувається приготування жорсткої бетонної суміші. Основними споживачами електроенергії є потужні двовальні бетонозмішувачі, шнеки та автоматичні дозатори. Навантаження має пульсуючий характер із частими пусками.

- *Цех вібропресування блоків.* Головний виробничий підрозділ. Оснащений високотехнологічними стаціонарними вібропресами. Енергоспоживання зосереджене на потужних гідравлічних станціях та вібромоторах. Специфіка навантаження — різкозмінний графік, сильні вібрації та високі пускові струми.

- *Цех тепловологісної обробки.* Призначений для прискореного набору міцності сформованих виробів (пропарочні камери). Основне

						Арк.

електрообладнання — потужні вентилятори циркуляції повітря, системи автоматики та сервоприводи воріт.

- *Дільниця сортування інертних матеріалів.* Здійснює просіювання та розподіл за фракціями відсіву і щебеню. Ключові споживачі — вібраційні грохоти та конвеєрні стрічки, які працюють у важких умовах пуску та генерують значну реактивну потужність.

- *Цех декоративної обробки.* Спеціалізується на фінішній обробці продукції (наприклад, колоття блоків для створення фактури «рваний камінь» або галтування). Обладнаний спеціалізованими розколювальними верстатами, що створюють ударне механічне навантаження на електроприводи.

- *Цех пакування та палетування.* Відповідає за формування транспортних піддонів. Використовує маніпулятори-укладальники, стрічкові конвеєри та автоматичні стреппінг-машини. Потребує високої якості напруги для чутливої електроніки керування.

- *Дільниця виробництва тротуарної плитки.* Окрема технологічна лінія, сфокусована на виготовленні фігурних елементів мощення. Споживачами є спеціалізовані преси середньої потужності та лінії подачі кольорового (фактурного) шару бетону.

- *Головний корпус управління.* Центральний адміністративний та інженерний вузол. Включає серверну, кабінети інженерно-технічного персоналу та диспетчерську. Відноситься до споживачів з підвищеними вимогами до безперебійності живлення (комп'ютерна техніка, зв'язок).

- *Склад інертних мат. та готової продукції.* Підтримує логістику сировини та складання випущених виробів. Електроенергію споживають мостові крани, конвеєри, пневмонасоси для перекачування цементу та зарядні станції для акумуляторних електронавантажувачів.

- *Компресорна станція.* Забезпечує завод стисненим повітрям для роботи пневмоприводів дозаторів та елементів вібропреса. Навантаження

						Арк.

створюють компресорні установки з асинхронними двигунами великої потужності (тривалий режим роботи).

- *Теплогенераторна (котельня).* Генерує теплоносії (технічну пару) для цеху тепловологісної обробки. Основними споживачами є мережеві насоси, вентилятори дуття та димососи, що є типовими турбомеханізмами.

- *Цех технічного обслуговування та ремонту.* Допоміжний підрозділ для відновлення зношених матриць і ремонту обладнання. Оснащений металообробними верстатами та зварювальними постами невеликої потужності.

Виробничий цикл підприємства

Технологічний шлях виготовлення будівельних матеріалів (від сировини до готового піддону) складається з наступних послідовних стадій:

Стадія 1. Організація доставки та підготовка матеріалів. Розпочинається на відкритих та закритих складах, куди надходять інертні матеріали (пісок, щебінь, відсів) та цемент. За допомогою навантажувачів та системи стрічкових конвеєрів сировина подається до видаткових бункерів. За необхідності матеріал проходить через дробарно-сортувальне відділення для отримання потрібної фракції.

Стадія 2. Дозування та приготування суміші. З видаткових бункерів компоненти потрапляють на тензометричні ваги дозаторів, де автоматично відмірюються згідно із заданою рецептурою. Далі сухі компоненти, вода та хімічні пластифікатори завантажуються у двовальний бетонозмішувач. Відбувається інтенсивне перемішування до отримання однорідної напівсухої бетонної суміші.

Стадія 3. Формоутворення виробів (вібропресування). Готова суміш за допомогою адресних конвеєрів доставляється у бункер формувальної машини. У вібропресі суміш засипається у спеціальну матрицю. Під одночасною дією потужної вібрації (від вібростолу) та гідравлічного тиску (від пуансона зверху)

						Арк.

суміш максимально ущільнюється, миттєво набуваючи форми готового виробу (стінового блоку, бруківки тощо).

Стадія 4. Тепловолога обробка (набір міцності). Сформовані "сирі" вироби на технологічних піддонах автоматизованим штабелером переміщуються у пропарочні камери. Протягом 12–24 годин за умов суворо контрольованої температури та високої вологості відбувається прискорена гідратація цементу, що дозволяє виробам набрати до 70% своєї марочної міцності.

Стадія 5. Пакування та контроль якості. Після сушіння піддони з блоками конвеєром подаються до цеху пакування. Автоматичні маніпулятори знімають вироби з технологічних піддонів та формують транспортні пакети на дерев'яних європалетах. Пакети обв'язуються міцною стрічкою, обмотуються стрейч-плівкою для захисту від вологи, після чого електронавантажувачами вивозяться на склад готової продукції. Паралельно зразки з кожної партії проходять перевірку на міцність у лабораторії.

Безперервність цього процесу підтримується допоміжними підрозділами: компресорною станцією (стиснене повітря для автоматики) та котельнею (тепло для сушіння).

Основний фокус дослідження зосереджено на побудові надійної, захищеної та економічно виправданої системи живлення підприємства з виробництва будматеріалів. Важливою частиною проєкту є інтеграція сучасних заходів енергозбереження, які унеможливлюють зайві енерговтрати та створюють ідеальні умови для безперебійної експлуатації потужного верстатного парку. Запропоновані у роботі технічні рішення, здійснений вибір комутаційних апаратів та зведені розрахункові показники мають високий рівень практичної значущості. Вони готові до безпосереднього впровадження при проєктуванні нових або модернізації існуючих схем електрозабезпечення на заводах залізобетонної та будівельної промисловості.

						Арк.

1. ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

1.1. Визначення силових електронавантажень у мережах до 1000 В

Для обчислення очікуваних електричних навантажень низьковольтних споживачів (до 1000 В) у цій роботі застосовано метод коефіцієнта максимуму (який також відомий як метод впорядкованих діаграм). Цей підхід є найбільш достовірним під час проєктування систем електропостачання промислових об'єктів, оскільки він гнучко враховує неоднорідність і специфіку роботи різнотипного технологічного обладнання.

Щоб продемонструвати логіку та послідовність обчислень, розглянемо детальний розрахунок для найбільш енергоємного підрозділу нашого підприємства — *бетонозмішувального цеху (БЗУ)*.

Згідно з технологічними даними, для цього цеху маємо такі вихідні параметри:

Загальна кількість встановлених електроприймачів: $n = 99$ шт.;

Межі потужності окремих механізмів: від мінімальної $P_{min} = 5,0$ кВт,
 $P_{max} = 106$ кВт;

Сумарна встановлена активна потужність всього обладнання:
 $\sum P_H = 4200$ кВт;

Першочергово обчислюємо середнє навантаження за максимально завантаженою робочою зміну (активну та реактивну складові):

$$P_{cm} = K_u \cdot \sum P_H = 0,58 \cdot 4200,00 = 2436 \text{ кВт}$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 2436,00 \cdot 1,2 \approx 2848 \text{ кВар}$$

Далі визначаємо ефективну кількість електроприймачів (n_e). Цей показник є необхідним, оскільки потужності окремих двигунів суттєво відрізняються між собою. Розрахунок ведеться за наступною залежністю:

						Арк.

$$n_e = \frac{(\sum P_H)^2}{\sum (P_H^2)}$$

Беручи до уваги реальний розподіл одиничних потужностей агрегатів бетонозмішувального цеху, отримуємо $n_e = 80$.

Спираючись на знайдене значення $n_e = 80$ та заданий коефіцієнт використання, за допомогою стандартних довідкових матеріалів знаходимо коефіцієнт максимуму - $K_M = 1,09$.

На фінальному етапі обчислюємо розрахункові електричні навантаження цеху, які стануть базою для подальшого вибору перерізів кабелів та трансформаторів:

- Максимальна розрахункова активна потужність:

$$P_p = P_{cm} \cdot K_M = 2436,00 \cdot 1,09 \approx 2658 \text{ кВт}$$

- Максимальна розрахункова реактивна потужність (оскільки n_e перевищує 10, приймаємо Q_p на рівні середньозмінного значення):

$$Q_p = 2848 \text{ квар}$$

- Повна розрахункова потужність підрозділу:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{2658^2 + 2848^2} \approx 3895 \text{ кВА}$$

Ідентична методологія розрахунку була використана для решти цехів та дільниць нашого підприємства. До таблиці 1.1 зведено та систематизовано підсумкові результати обчислень силових навантажень для мереж 0,4 кВ.

						Арк.

Таблиця 1.1. Результати визначення потужностей силового електрообладнання низьковольтної мережі

№	Перелік споживачів	Кіл-ть ЕП	Pmin, кВт	Pmax, кВт	P_{Σ}	K_B	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	$P_{см},$ кВт	$Q_{см},$ квар	n_E	K_M	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА
1	Бетонозмішувальний цех (БЗУ)	99	5	106	4200	21	0,6	0,65	1,2	2436	2848	80	1,1	2658	2848
2	Цех вібропресування блоків	48	5	50,2	1940	10	0,3	0,65	1,2	524	612	48	1,3	663	612
3	Цех тепловологісної обробки	115	10	101	4450	10	0,3	0,88	0,5	1380	745	89	1,2	1614	745
4	Дільниця сортування інертних матеріалів	37	10	101	1259	10	0,3	0,77	1,2	365	446	25	1,4	498	446
5	Цех декоративної обробки	34	7,5	54,2	2508	7	0,3	0,67	1,1	652	723	34	1,3	869	723
6	Цех пакування та палетування	32	5	74,8	1050	15	0,4	0,6	1,3	420	560	28	1,3	529	560
7	Дільниця виробництва тротуарної плитки	20	5	50,2	450	10	0,3	0,7	1,0	153	156	18	1,4	212	156
8	Головний корпус управління	77	30	50,2	200	2	0,7	0,9	0,5	140	68	77	1,0	140	68
9	Склад інертних мат. та готової прод.	16	5	9,8	120	2	0,1	0,5	1,7	12	21	16	1,9	23	21
10	Компресорна станція	12	1,08	79,8	400	74	0,7	0,8	0,8	268	201	10	1,0	268	201
11	Теплогенераторна (котельня)	17	1,08	19,7	563	18	0,3	0,7	1,0	175	178	17	1,4	250	178
12	Цех технічного обслуговування та ремонту	43	5	40,3	857	8	0,3	0,7	1,0	231	236	43	1,3	297	236
	Всього по заводу	550	1,08	106	17997	98	0,38	0,71	1,0	6755	6794	341	1,0	6755	6794

1.2. Визначення освітлювальних електронавантажень

Прогнозування обсягів електроспоживання системами внутрішнього та зовнішнього освітлення промислових площ підприємства здійснено із застосуванням методу питомої потужності. Цей розрахунковий алгоритм оперує площею об'єкта та нормованим показником питомого навантаження, який залежить від категорії зорових робіт та типу застосованих джерел світла. У даному проєкті прийнято орієнтир на сучасні енергоощадні світлодіодні (LED) технології, що характеризуються високою світловіддачею та оптимальним коефіцієнтом потужності.

Для наочної демонстрації методики наведемо приклад обчислення параметрів освітлювальної установки для бетонозмішувального цеху (БЗУ).

Вихідні дані для розрахунку:

- Експлуатаційна площа приміщення: $F = 21000 \text{ м}^2$;
- Нормативна питома потужність $p_0 = 12 \text{ Вт} / \text{м}^2$ для відповідного класу приміщень;
- Коефіцієнт попиту, що враховує одночасність включення: $K_C = 0,95$;
- Поправочний коефіцієнт на умови середовища (запиленість, висота підвісу): $K_1 = 1,2$;
- Паспортний коефіцієнт потужності LED-драйверів: $\cos \varphi = 0,95$ ($\text{tg} \varphi \approx 0,329$).

Етап 1. Знаходження встановленої (номінальної) активної потужності освітлювальних приладів цеху:

$$P_y = \frac{p_0 \cdot F}{1000} = \frac{12 \cdot 21000}{1000} = 252 \text{ кВт}$$

Етап 2. Визначення номінальної реактивної потужності:

$$Q_y = P_y \cdot \text{tg} \varphi = 252 \cdot 0,329 \approx 82,8 \text{ квар}$$

Етап 3. Обчислення розрахункової активної потужності з урахуванням коефіцієнта попиту та поправочного коефіцієнта умов середовища:

$$P_p = P_y \cdot K_C \cdot K_1 = 252 \cdot 0,95 \cdot 1,2 = 272,16 \text{ кВт}$$

						Арк.

Етап 4. Розрахунок очікуваної реактивної потужності в режимі експлуатації:

$$Q_p = Q_y \cdot K_C = 82,80,9 \approx 89,5 \text{ квар}$$

Етап 5. Знаходження повної розрахункової потужності освітлювального комплексу підрозділу:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{272,16^2 + 89,5^2} \approx 286,5 \text{ кВА}$$

Спираючись на наведений алгоритм, було виконано обчислення параметрів освітлення для всіх виробничих ділянок, адміністративних будівель, а також для території заводу. Зведені результати проєктування освітлювальних мереж представлені у таблиці 1.2. нижче.

						Арк.

Таблиця 1.2. Відомість проектних навантажень установок освітлення заводу

№	Найменування	F , м ²	ρ_0 , Вт/м ²	P_y , кВт	Q_y , квар	K_c	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
1 3	Бетонозмішувальний цех (БЗУ)	21 000	12	252	83	0,9	1,2	0,95	272,2	89,5	286,5
2	Цех вібропресування блоків	26 250	12	315	104	0,9	1,2	0,95	340,2	111,8	358,1
3	Цех тепловологісної обробки	48 750	10	488	160	0,85	1	0,95	414,4	136,2	436,2
4	Дільниця сортування інертних матеріалів	55 000	10	550	181	0,8	1	0,95	440,0	144,6	463,2
5	Цех декоративної обробки	3 750	18	68	22	0,9	1,2	0,95	72,9	24,0	76,7
6	Цех пакування та палетування	30 000	12	360	118	0,9	1,2	0,95	388,8	127,8	409,3
7	Дільниця виробництва тротуарної плитки	6 250	12	75	25	0,9	1,2	0,95	81,0	26,6	85,3
8	Головний корпус управління	12 375	20	248	72	0,8	1	0,96	198,0	57,8	206,3
9	Склад інертних мат. та готової прод.	31 250	5	156	51	0,6	1	0,95	93,8	30,8	98,7
1 0	Компресорна станція	625	10	6	2	0,85	1	0,95	5,3	1,7	5,6
1 1	Теплогенераторна (котельня)	1 875	12	23	7	0,85	1,2	0,95	23,0	7,5	24,2
1 2	Цех технічного обслуговування та ремонту	18 750	15	281	92	0,9	1,2	0,95	303,8	99,8	319,7
	Освітлення території заводу	375000	0,58	218	44	0,8	1	0,98	174,0	43,3	179,3
	Всього по заводу			3 038	962				2 807	901	2 949

											Арк.

1.3. Визначення електронавантажень у силових мережах вище 1000 В

Для виконання цього завдання необхідно попередньо згрупувати споживачів за окремими підстанціями, обрати номінальну потужність силових трансформаторів та врахувати втрати потужності в їхніх обмотках і магнітопроводах.

Розподіл виробничих підрозділів між ТП здійснюється з урахуванням їх територіального розміщення на генеральному плані заводу. Головна мета такого групування — максимально скоротити протяжність низьковольтних кабельних трас (0,4 кВ) та наблизити джерела живлення до центрів електричних навантажень.

Загальний алгоритм визначення навантажень на рівні вище 1000 В складається з таких послідовних етапів:

1. Арифметичне додавання розрахункових активних і реактивних потужностей усіх споживачів (як силових, так і освітлювальних установок), що підключені до шин 0,4 кВ конкретної підстанції.

2. Обчислення повної потужності підстанції та визначення K_3 .

3. Визначення очікуваних втрат ΔP_T та ΔQ_T потужності в силових трансформаторах.

4. Сумування знайдених втрат до сумарних навантажень сторони 0,4 кВ для отримання кінцевих параметрів на шинах 10 кВ.

Для демонстрації цієї методики розглянемо детальний розрахунок для групи підстанцій ТП №1,2,3, які забезпечують живлення бетонозмішувального цеху (БЗУ), дільниці виробництва тротуарної плитки та головного корпусу управління.

Згідно з проєктним рішенням, для цієї групи передбачено встановлення трьох двотрансформаторних підстанцій ($n=6$ трансформаторів) номінальною потужністю по 1000 кВА кожний ($S_{ном} = 1000$ кВА).

						Арк.

Підсумоване розрахункове навантаження на збірних шинах 0,4 кВ для цієї групи об'єктів становить: $P_{0,4} = 3462,9$ кВт; $Q_{0,4} = 3226,6$ квар;
 $S_{0,4} = \sqrt{3462,9^2 + 3226,6^2} = 4733,2$ кВА

Фактичний коефіцієнт завантаження трансформаторної групи в нормальному експлуатаційному режимі дорівнює:

$$K_3 = \frac{S_{0,4}}{n \cdot S_{НОМ}} = \frac{4733,2}{6 \cdot 1000} \approx 0,789$$

На основі паспортних характеристик обраних трансформаторів та знайденого коефіцієнта завантаження, розрахункові втрати потужності складають:

- Втрати активної потужності: $\Delta P_T = 65,5$ кВт ;
- Втрати реактивної потужності: $\Delta Q_T = 328,1$ квар .

Отже, сумарне розрахункове навантаження групи ТП №1, 2, 3 на стороні високої напруги (шини 10 кВ) визначається додаванням втрат до навантаження низької сторони:

$$P_{10} = P_{0,4} + \Delta P_T = 3462,9 + 65,5 = 3528,4 \text{ кВт}$$

$$Q_{10} = Q_{0,4} + \Delta Q_T = 3226,6 + 328,1 = 3554,7 \text{ квар}$$

$$S_{10} = \sqrt{P_{10}^2 + Q_{10}^2} = \sqrt{3528,4^2 + 3554,7^2} = 5008,6 \text{ кВА}$$

За ідентичним алгоритмом було опрацьовано решту цехових підстанцій підприємства. До Таблиці 1.3 занесено усі результати обчислень струмових навантажень у мережі понад 1 кВ.

						Арк.

Таблиця 1.3. Відомість розрахункових електричних навантажень на стороні 10 кВ

№	Назва групи споживачів	Кількість ЕС	Р одного			P_{Σ}	m	K_B	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	Середнє		n_E	K_M	Розрахункове навантаження		
			min	...	max						P_{CM} , кВт	Q_{CM} , квар			P_P , кВт	Q_P , квар	S_P , кВА
1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ТП №1,2,3 (6х1000)																	
1	Бетонозмішувальний цех (БЗУ)																
	Силове навантаження	99	5	...	106	4200	21,1	0,58	0,65	1,17	2436	2848	79,62	1,09	2657,7	2848,0	3895,5
	Освітлювальне навантаження										252,0	82,8			272,2	89,5	286,5
	Всього										2688,0	2930,8			2929,9	2937,5	4148,8
2	Дільниця виробництва тротуарної плитки																
	Силове навантаження	20	5	...	50,2	450	10,04	0,34	0,7	1,02	153	156,0912	17,93	1,39	212,5	156,1	263,6
	Освітлювальне навантаження										75,0	24,7			23,0	7,5	24,2
	Всього										228,0	180,7			235,4	163,6	286,7
3	Головний корпус управління																
	Силове навантаження	77	30	...	50,2	200	1,673	0,7	0,9	0,48	140	67,80509	77	1	140,0	67,8	155,6
	Освітлювальне навантаження										247,5	72,2			198,0	57,8	206,3
	Всього										387,5	140,0			338,0	125,6	360,6
Всього силова по ТП 1,2,3		196	5	...	106	4850	21	0,56	0,66	1,13	2729,0	3071,9	92	1,09	2969,8	3071,9	4272,7
Всього осв. по ТП 1,2,3											574,5	179,7			493,1	154,7	516,8
Всього на 0,4 кВ по ТП 1,2,3											3303,5	3251,6			3462,9	3226,6	4733,2
Втрати в тр-рах ТП 1,2,3															65,5	328,1	334,5
Всього на шинях 10 кВ по ТП 1,2,3															3528,4	3554,7	5008,6

Продовження Таблиці 1.3.

2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
ТП №4,5 (4х1000)																	
1	Цех вібропресування блоків																
	Силове навантаження	48	5	...	50,2	1940	10,04	0,27	0,65	1,17	523,8	612,3901	48	1,27	663,1	612,4	902,6
	Освітлювальне навантаження										315,0	103,5			340,2	111,8	358,1
	Всього										838,8	715,9			1003,3	724,2	1237,4
2	Цех тепловологісної обробки																
	Силове навантаження	115	10	...	101	4450	10,05	0,31	0,88	0,54	1379,5	744,5752	88,56	1,17	1613,8	744,6	1777,3
	Освітлювальне навантаження										487,5	160,2			414,4	136,2	436,2
	Всього по цеху										1867,0	904,8			2028,2	880,8	2211,2
Всього силова по ТП 4,5		163	5	...	101	6390	20	0,30	0,81	0,71	1903,3	1357,0	127	1,14	2176,2	1357,0	2564,6
Всього освітлювальна по ТП 4,5											802,5	263,8			754,6	248,0	794,3
Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 4,5											2705,8	1620,7			2930,8	1605,0	3341,5
Втрати в тр-рах ТП 4,5															47,9	234,2	239,1
Всього на шинах 10 кВ по ТП 4,5															2978,7	1839,2	3500,8
ТП №6 (2х1000)																	
1	Дільниця сортування інертних матеріалів																
	Силове навантаження	37	10	...	101	1259	10,05	0,29	0,77	1,22	365,11	446,4588	25,05	1,36	498,1	446,5	668,9
	Освітлювальне навантаження										550,0	180,8			440,0	144,6	463,2
	Всього										915,1	627,2			938,1	591,1	1108,8
2	Склад інертних мат. та готової прод.																
	Силове навантаження	16	5	...	9,8	120	1,96	0,1	0,5	1,73	12	20,78461	16	1,94	23,2	20,8	31,2
	Освітлювальне навантаження										156,3	51,4			93,8	30,8	98,7
	Всього										168,3	72,1			117,0	51,6	127,9
3	Цех технічного обслуговування та ремонту																
	Силове навантаження	43	5	...	40,3	857	8,06	0,27	0,7	1,02	231,39	236,065	42,53	1,28	297,3	236,1	379,6
	Освітлювальне навантаження										281,3	92,4			303,8	99,8	319,7
	Всього										512,6	328,5			601,0	335,9	688,5

Продовження Таблиці 1.3.

2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Всього силова по ТП 6		96	5	...	101	2236	20	0,27	0,65	1,16	608,5	703,3	44	1,28	776,4	703,3	1047,6
Всього освітлювальна по ТП 6										987,5	324,6			837,5	275,3	881,6	
Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 6										1596,0	1027,9			1613,9	978,6	1887,4	
Втрати в тр-рах ТП 6														24,0	117,1	119,5	
Всього на шинах 10 кВ по ТП 6														1637,9	1095,7	1970,6	
ТП №7 (2x1000)																	
1	Теплогенераторна (котельня)																
	Силове навантаження	17	1,08	...	19,7	563	18,24	0,31	0,7	1,02	174,53	178,0562	17	1,43	250,0	178,1	307,0
	Освітлювальне навантаження										487,5	160,2			23,0	7,5	24,2
	Всього										662,0	338,3			273,0	185,6	330,1
2	Цех пакування та палетування																
	Силове навантаження	32	5	...	74,8	1050	14,96	0,4	0,6	1,33	420	560	28,07	1,26	528,8	560,0	770,2
	Освітлювальне навантаження										360,0	118,3			388,8	127,8	409,3
	Всього										780,0	678,3			917,6	687,8	1146,8
Всього силова по ТП 7		49	1	...	75	1613	69	0,37	0,63	1,24	595	738	43	1,22	724,9	738,1	1034,5
Всього освітлювальна по ТП 7											848	279			411,8	135,3	433,4
Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 7											1442,0	1016,6			1136,7	873,4	1433,5
Втрати в тр. ТП 7															19,0	99,4	101,2
Всього на шинах 10 кВ по ТП 7															1155,7	972,8	1510,7

Продовження Таблиці 1.3.

2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
ТП № 8 (2х1000)																	
1	Компресорна станція																
	Силове навантаження	12	1,08	...	79,8	400	73,89	0,67	0,8	0,75	268	201	10,03	1	268,0	201,0	335,0
	Освітлювальне навантаження										6,3	2,1			5,3	1,7	5,6
	Всього										274,3	203,1			273,3	202,7	340,3
2	Цех декоративної обробки																
	Силове навантаження	34	7,5	...	54,2	2508	7,227	0,26	0,67	1,11	652,08	722,5057	34	1,33	868,7	722,5	1129,9
	Освітлювальне навантаження										67,5	22,2			72,9	24,0	76,7
	Всього										719,6	744,7			941,6	746,5	1201,6
Всього силова по ТП 8		46	1,08	...	79,8	2908	74	0,32	0,71	1,00	920,1	923,5	46	1,24	1141,8	923,5	1468,5
Всього освітлювальна по ТП 8											73,8	24,2			78,2	25,7	82,3
Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 8											993,8	947,7			1220,0	949,2	1545,8
Втрати в тр. ТП 8															25,9	134,9	137,4
Всього на шинах 10 кВ по ТП 8															1245,9	1084,1	1651,6
Всього по заводу на стороні 0,4 кВ															6755,4	6793,7	9580,7
Загальні втрати в тр-рах ТП 1-10															182,3	913,7	931,8
Всього по заводу на стороні 10 кВ															6937,7	7707,5	10370,0
Всього по заводу															6937,7	7707,5	10370,0

1.4. Графіки електричних навантажень

Підґрунттям для глибокого аналізу режимів роботи системи електропостачання та вибору оптимальних параметрів обладнання є побудова добових графіків активної $P(t)$ та реактивної $Q(t)$ потужностей. Для підприємства з виробництва будівельних блоків ці графіки мають чітко виражену специфіку. По-перше, значну частку навантаження складають процеси тепловологісної обробки бетону (пропарочні камери) та підігріву інертних матеріалів, які не припиняються у нічний час. По-перше, спостерігається вища інтенсивність виробництва у літній сезон, що пов'язано з піком будівельних робіт.

Добові профілі моделюються для характерних зимових та літніх діб із поділом на робочі та вихідні дні. Максимальні розрахункові навантаження підприємства становлять: $P_{max} = 6937,7$ кВт, $Q_{max} = 7707,5$ квар.

Відносний погодинний розподіл споживання електроенергії (у відсотках від максимального розрахункового навантаження) наведено у Таблиці 1.4.

Таблиця 1.4. Відносний погодинний профіль електроспоживання заводу
будівельних блоків, %

Період доби	Зимові роб.		Зимові вих.дні		Літні роб. дні		Літні вих.. дні	
	Р, %	Q, %	Р, %	Q, %	Р, %	Q, %	Р, %	Q, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	35	30	25	20	25	20	15	15
2	35	30	25	20	25	20	15	15
3	35	30	25	20	25	20	15	15
4	35	30	25	20	25	20	15	15
5	35	30	25	20	25	20	15	15
6	35	30	25	20	25	20	15	15
7	50	45	25	20	40	35	15	15
8	75	70	25	20	80	75	15	15
9	90	90	25	20	95	95	15	15
10	100	100	25	20	100	100	15	15

						Арк.

Продовження табл. 1.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
11	100	100	25	20	100	100	15	15
12	100	100	25	20	100	100	15	15
13	60	50	25	20	65	60	15	15
14	95	95	25	20	100	100	15	15
15	95	95	25	20	100	100	15	15
16	95	95	25	20	100	100	15	15
17	80	80	25	20	85	85	15	15
18	80	80	25	20	85	85	15	15
19	80	80	25	20	85	85	15	15
20	50	45	25	20	40	35	15	15
21	35	30	25	20	25	20	15	15
22	35	30	25	20	25	20	15	15
23	35	30	25	20	25	20	15	15
24	35	30	25	20	25	20	15	15

Базуючись на відсоткових частках та фінальних розрахункових навантаженнях, обчислюються абсолютні погодинні значення споживаної потужності (Таблиця 1.5).

Таблиця 1.5. Споживання активної та реактивної потужності впродовж доби

Час доби	Зимові роб. дні		Зимові вих. дні		Літні роб. дні		Літні вих.. дні	
	Р, кВт	Q, квар	Р, кВт	Q, квар	Р, кВт	Q, квар	Р, кВт	Q, квар
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2428,2	2312,3	1734,4	1541,5	1734,4	1541,5	1040,7	1156,1
2	2428,2	2312,3	1734,4	1541,5	1734,4	1541,5	1040,7	1156,1
3	2428,2	2312,3	1734,4	1541,5	1734,4	1541,5	1040,7	1156,1
4	2428,2	2312,3	1734,4	1541,5	1734,4	1541,5	1040,7	1156,1

									Арк.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	2428,2	2312,3	1734,4	1541,5	1734,4	1541,5	1040,7	1156,1
6	2428,2	2312,3	1734,4	1541,5	1734,4	1541,5	1040,7	1156,1
7	3468,9	3468,4	1734,4	1541,5	2775,1	2697,6	1040,7	1156,1
8	5203,3	5395,3	1734,4	1541,5	5550,2	5780,6	1040,7	1156,1
9	6243,9	6936,8	1734,4	1541,5	6590,8	7322,1	1040,7	1156,1
10	6937,7	7707,5	1734,4	1541,5	6937,7	7707,5	1040,7	1156,1
11	6937,7	7707,5	1734,4	1541,5	6937,7	7707,5	1040,7	1156,1
12	6937,7	7707,5	1734,4	1541,5	6937,7	7707,5	1040,7	1156,1
13	4162,6	3853,8	1734,4	1541,5	4509,5	4624,5	1040,7	1156,1
14	6590,8	7322,1	1734,4	1541,5	6937,7	7707,5	1040,7	1156,1
15	6590,8	7322,1	1734,4	1541,5	6937,7	7707,5	1040,7	1156,1
16	6590,8	7322,1	1734,4	1541,5	6937,7	7707,5	1040,7	1156,1
17	5550,2	6166	1734,4	1541,5	5897	6551,4	1040,7	1156,1
18	5550,2	6166	1734,4	1541,5	5897	6551,4	1040,7	1156,1
19	5550,2	6166	1734,4	1541,5	5897	6551,4	1040,7	1156,1
20	3468,9	3468,4	1734,4	1541,5	2775,1	2697,6	1040,7	1156,1
21	2428,2	2312,3	1734,4	1541,5	1734,4	1541,5	1040,7	1156,1
22	2428,2	2312,3	1734,4	1541,5	1734,4	1541,5	1040,7	1156,1
23	2428,2	2312,3	1734,4	1541,5	1734,4	1541,5	1040,7	1156,1
24	2428,2	2312,3	1734,4	1541,5	1734,4	1541,5	1040,7	1156,1



Рисунок 1.1. Динаміка активного електронавантаження об'єкта у зимовий період



Рисунок 1.2. Динаміка реактивного електронавантаження об'єкта у зимовий період



Рисунок 1.3. Динаміка активного електронавантаження об'єкта у літній період



Рисунок 1.4. Динаміка реактивного електронавантаження об'єкта у літній період



Рисунок 1.5. Впорядкована діаграма річного споживання повної електроенергії

Для розрахунку річних техніко-економічних показників системи електропостачання інтегруємо площі під добовими графіками. Приймаємо стандартний календарний розподіл: 250 робочих днів (125 зимових, 125 літніх) та 115 вихідних (58 зимових, 57 літніх).

Обчислення річного обсягу спожитої активної енергії:

$$W_a = (15,0 \cdot 125 + 6,0 \cdot 58 + 14,25 \cdot 125 + 3,6 \cdot 57) \cdot P_{max}$$

$$W_a = 4209,45 \cdot 6937,7 = 29203801 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Обчислення річного обсягу спожитої реактивної енергії:

$$W_r = (14,25 \cdot 125 + 4,8 \cdot 58 + 13,55 \cdot 125 + 3,6 \cdot 57) \cdot Q_{max}$$

$$W_r = 3958,6 \cdot 7707,5 = 30510910 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Еквівалентний час використання максимального активного навантаження (характеризує щільність графіка та змінність роботи заводу):

$$T_{max} = \frac{W_a}{P_{max}} = \frac{29203801}{6937,7} \approx 4209 \text{ год.}$$

Отримане значення $T_{max} = 4209$ год повністю відповідає характерному двозмінному графіку роботи сучасного заводу з виробництва будівельних блоків із нічним черговим режимом тепловологісної обробки. Еквівалентний час найбільших втрат потужності (використовується для подальших техніко-економічних розрахунків втрат у трансформаторах та лініях):

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{max}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = (0,124 + 0,4209)^2 \cdot 8760 = 0,2969 \cdot 8760 \approx 2601 \text{ год.}$$

2. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА МІСЦЕ РОЗТАШУВАННЯ ГОЛОВНОЇ ЗНИЖУВАЛЬНОЇ ПІДСТАНЦІЇ (ГЗП)

Для наочного відображення територіального розміщення центрів електроспоживання на генеральному плані заводу будівельних блоків та обґрунтування найвигіднішої локації для спорудження головної знижувальної підстанції (ГЗП) застосовується метод побудови картограми електричних навантажень. Суть методу полягає у відображенні кожного виробничого підрозділу у вигляді кола, площа якого є еквівалентною розрахунковій активній потужності цього об'єкта.

Як приклад математичної моделі розрахунку радіусів та секторів картограми, розглянемо найбільш енергоємний підрозділ нашого підприємства — бетонозмішувальний цех (БЗУ).

Сумарне розрахункове активне навантаження цього цеху дорівнює $P_p = 2929,88$ кВт. Значення радіусу обчислюється на основі площі круга з урахуванням обраного масштабу питомої потужності. Для зручного графічного відображення на генплані приймаємо масштаб $m = 0,5$ кВт/мм²:

$$R = \sqrt{\frac{P_p}{\pi m}} = \sqrt{\frac{2929,88}{3,14 \cdot 0,5}} \approx 43,19 \text{ мм}$$

На картограмі освітлювальне навантаження, що входить до загального електроспоживання цеху ($P_{p.осв} = 272,16$) виділяється окремим сектором всередині основного кола. Кут цього сектора (α) розраховується пропорційно до частки освітлювального навантаження:

$$\alpha = 360^\circ \cdot \frac{P_{p.осв}}{P_p} = 360^\circ \cdot \frac{272,16}{2929,88} \approx 33,44^\circ$$

Використовуючи даний математичний алгоритм було обчислено геометричні показники картограми для всіх інших структурних підрозділів заводу. Повні результати зведено до Таблиці 2.1.

Щоб мінімізувати втрати електричної енергії та скоротити витрати на прокладання кабельних ліній, головне джерело живлення має знаходитись

						Арк.

якогома ближче до центру електричних навантажень (ЦЕН) підприємства. Пошук координат ЦЕН здійснюється за принципом знаходження центру мас плоскої фігури, де «масою» виступає розрахункова активна потужність об'єкта, а «плечем» — його декартові координати на генплані (X_i, Y_i).

Координати ідеального центру електричних навантажень ($X_{ЦЕН}, Y_{ЦЕН}$) обчислюються за формулами:

$$X_{ЦЕН} = \frac{\sum (P_{pi} \cdot X_i)}{\sum P_{pi}} = \frac{2181358,01}{10654,50} \approx 204,7 \text{ м}$$

$$Y_{ЦЕН} = \frac{\sum (P_{pi} \cdot Y_i)}{\sum P_{pi}} = \frac{4781580,8}{10654,5} \approx 449 \text{ м}$$

Розрахована точка з координатами ($X_{ЦЕН} = 204,7 \text{ м}; Y_{ЦЕН} = 449 \text{ м}$) є теоретично найвигіднішою для розміщення головної знижувальної підстанції. Однак під час реального проектування остаточна прив'язка ГЗП на генеральному плані здійснюється з допустимим зміщенням від розрахованого ЦЕН, враховуючи наявну транспортну інфраструктуру, пожежні норми та розташування підземних інженерних мереж.

						Арк.

Таблиця 2.1. Параметри для побудови картограми та знаходження ЦЕН підприємства

№	Найменування										
по		$P_{Pcл}$	$P_{Pocв}$	P_p	m	$R, \text{см}$	a	$x, \text{м}$	$y, \text{м}$	$P^*x, \text{кВт м}$	$P^*y, \text{кВт м}$
плану		кВт	кВт	кВт							
1	Бетонозмішувальний цех (БЗУ)	2657,72	272,16	2929,88	0,5	43,19	33,44	135	300	395533	878963
2	Цех вібропресування блоків	663,14	340,20	1003,34	0,5	25,27	122,06	45	660	45150	662202
3	Цех тепловологісної обробки	1613,82	414,38	2028,20	0,5	35,93	73,55	54	390	109523	790997
4	Дільниця сортування інертних матеріалів	498,11	440,00	938,11	0,5	24,44	168,85	156	510	146345	478436
5	Цех декоративної обробки	868,72	72,90	941,62	0,5	24,48	27,87	495	570	466100	536721
6	Цех пакування та палетування	528,83	388,80	917,63	0,5	24,17	152,53	420	510	385406	467993
7	Дільниця виробництва тротуарної плитки	212,46	81,00	293,46	0,5	13,67	99,36	330	300	96843	88039
8	Головний корпус управління	140,00	198,00	338,00	0,5	14,67	210,89	156	45	52728	15210
9	Склад інертних мат. та готової прод.	23,23	93,75	116,98	0,5	8,63	288,51	240	540	28076	63170
10	Компресорна станція	268,00	5,31	273,31	0,5	13,19	7,00	420	720	114791	196785
11	Теплогенераторна (котельня)	250,03	22,95	272,98	0,5	13,18	30,27	390	690	106463	188357
12	Цех технічного обслуговування та ремонту	297,28	303,75	601,03	0,5	19,56	181,94	390	690	234400	414708
	Сума по заводу	8021	2633,2	10654,5						2181358,01	4781580,80

Результати

$X_{гзп} =$	204,7	7
$Y_{гзп} =$	449	15

3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

3.1. Схема приєднання та вибір напруги живлення

Вибір оптимальної архітектури зовнішнього електропостачання та класу живильної напруги є ключовим етапом проєктування. Цей вибір безпосередньо формує розмір стартових капіталовкладень та визначає щорічні експлуатаційні витрати підприємства з виробництва будівельних блоків.

Спираючись на розраховані раніше параметри (повна потужність заводу $S_p = 10370$ кВА) та враховуючи віддаленість від найближчої вузлової підстанції енергосистеми на орієнтовну відстань $L = 5,0$ км, для техніко-економічного аналізу висуваються два конкурентні варіанти:

- Варіант 1: Передача потужності на генераторній напрузі 10 кВ шляхом прокладання багатоланцюгової кабельної магістралі до центрального розподільчого пункту (ЦРП) підприємства.
- Варіант 2: Спорудження двокової повітряної лінії напругою 35 кВ із будівництвом на території заводу власної головної знижувальної підстанції (ГЗП 35/10 кВ).

Основною метрикою для визначення найефективнішого рішення є мінімум зведених річних витрат (Z_i), які розраховуються за наступною математичною моделлю:

$$Z_i = E_n \cdot K_i + C_{\text{експл.і}} + C_{\text{втр.і}} + C_{\text{ен.і}}$$

де $E_n = 0,12$ — коефіцієнт економічної ефективності капіталовкладень;

K_i — сукупні капітальні інвестиції у будівництво мереж та підстанцій, тис. грн;

$C_{\text{експл.і}}$ — щорічні відрахування на амортизацію та технічне обслуговування, тис. грн;

						Арк

$C_{\text{втр.і}}$ — фінансовий еквівалент вартості втраченої електричної енергії в елементах мережі, тис. грн;

$C_{\text{ен.і}}$ — вартість спожитої заводом електричної енергії (яка визначається тарифом для відповідного класу напруги), тис. грн.

Згідно з актуальними умовами енергетичного ринку України, ціна на електроенергію суттєво залежить від точки приєднання споживача:

- Для живлення на рівні 10 кВ діє тариф $C_{0(10)} = 8,65$ грн/кВт·год;
- Для живлення на рівні 35 кВ застосовується знижений тариф $C_{0(35)} = 7,3$ грн/кВт·год.

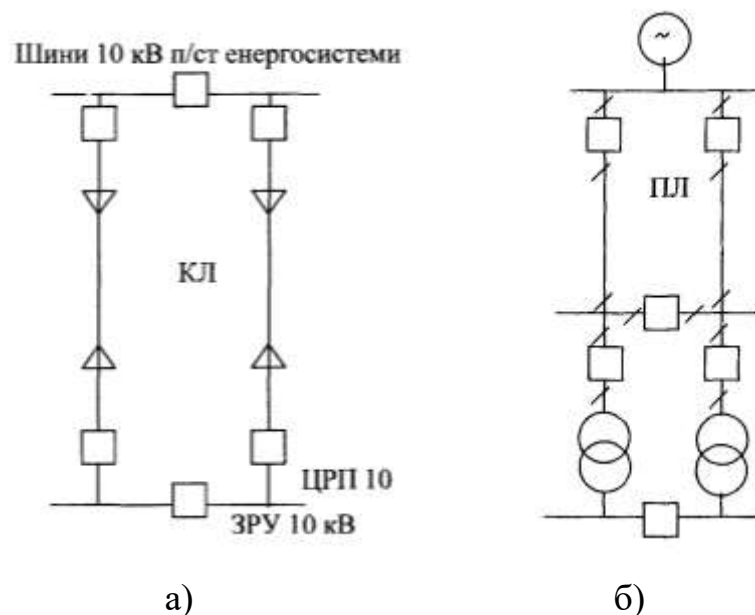


Рис. 3.1. Альтернативні топології мереж зовнішнього електропостачання об'єкта (а – лінія 10 кВ; б – лінія 35 кВ)

Оцінка варіанта 1 (живлення від мережі 10 кВ)

Розрахунковий струм у живильній магістралі обчислюється як:

$$I_{p(10)} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{10370,0}{1,732 \cdot 10,5} \approx 570,2 \text{ А}$$

						Арк

Для надійного пропускання такого струму та забезпечення резервування на випадок аварії потрібно прокласти чотири паралельні кабельні лінії (перерізом жили 240 мм², марка ААШв 3×240). З урахуванням довжини траси 5 км, загальна потреба в кабелі становить 20 км.

Оцінка варіанта 2 (Живлення від мережі 35 кВ із ГЗП)

Розрахунковий струм для вищого класу напруги:

$$I_{p(35)} = \frac{10370,0}{\sqrt{3} \cdot 35} \approx 171,1 \text{ А}$$

Для реалізації цієї схеми передбачено будівництво двоколової повітряної лінії (провід АС-120). На території заводу споруджується ГЗП із двома силовими трансформаторами типу ТМН (потужність 6300 кВА гарантує надійну роботу заводу навіть при аварійному відключенні одного з них, особливо враховуючи додаткове встановлення пристроїв компенсації реактивної потужності).

Актуальна кошторисна вартість обладнання та будівельно-монтажних робіт (у цінах 2024–2025 рр.) наведена у Таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Структура капітальних інвестицій за варіантами (K_i)

Варіант	Склад обладнання та робіт	Одиниця	Кіль-ть	Вартість од., тис. грн	Всього, тис. грн
I	Кабель силовий ААШв-10 (3х240)	км	20	1800	36000
	Земляні роботи та облаштування траншей	км	5	1200	6000
	Всього по Варіанту I (K1)				42000
II	Пов.лін. 35 кВ (двоколова)	км	10	1500	15000
	Трансформатори ТМН-35/10	шт.	2	13000	26000
	Відкритий розподільчий пристрій 35 кВ	компл.	1	6000	6000
	Всього по Варіанту II (K2)				47000

Витрати на купівлю електроенергії розраховуються на базі річного споживання $W_a = 29203801 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ (результати з підрозділу 1.4). Зведене порівняння економічних показників подано у Таблиці 3.2.

						Арк

Таблиця 3.2. Техніко-економічне зіставлення схем електропостачання

Стаття витрат (Показник)	Варіант 1 (10 кВ)	Варіант 2 (35 кВ)
Значення кап. інвестицій (K_i), тис. грн	42000	47000
Відрахування на експлуатацію та амортизацію (Сексп), тис. грн	2100	2820
Орієнтовна фінансова вартість втрат у мережі (Свтр), тис. грн	3287	3285
Вартість спожитої енергії за тарифом відповідного класу (Сен), тис. грн	252612,9	213187,7
Сумарні зведені річні витрати (Z_i), тис. грн	263039,9	224932,7

Висновок: Хоча Варіант II (будівництво підст.35/10 кВ) передбачає на 5 мільйонів гривень більших стартових капіталовкладень (47,0 млн грн проти 42,0 млн грн), саме він є перспективнішим і затверджується як фінальне проєктне рішення.

Колосальна різниця у зведених витратах зумовлена можливістю підприємства купувати енергію за пільговим тарифом 1-го класу. Лише на різниці вартості 1 кВт·год завод заощаджуватиме понад 39,4 млн грн щорічно. Це означає, що додаткові інвестиції у спорудження підстанції 35 кВ окупляться орієнтовно за 1,5–2 місяці повноцінної роботи підприємства.

						Арк

3.2. Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання

Побудова системи розподілу енергії безпосередньо на території підприємства з виробництва будівельних блоків ґрунтується на засадах технологічної надійності, мінімізації експлуатаційних витрат та можливості оперативного керування потоками потужності. Вибір параметрів внутрішньої мережі визначається територіальною розсередженістю цехів та їхньою сумарною енергоемністю.

Для передачі електричної енергії від головної знижувальної підстанції (ГЗП 35/10 кВ) до основних вузлів споживання обрано рівень напруги 10 кВ. Таке рішення дозволяє суттєво зменшити падіння напруги в лініях при живленні віддалених об'єктів (наприклад, складів інертних матеріалів чи котельні) та дає змогу використовувати кабелі меншого перерізу порівняно з низьковольтними магістралями.

Трансформація напруги до споживчого рівня 0,4 кВ (380 В) для живлення приводів вібропресів, бетонозмішувачів та систем освітлення здійснюється на восьми цехових трансформаторних підстанціях (ТП №1–8). Враховуючи безперервний характер циклу пропарювання блоків та високі вимоги до надійності бетонозмішувального вузла, всі підстанції спроектовані як двотрансформаторні об'єкти (КТП). Така конфігурація забезпечує повне автоматичне резервування через АВР, що виключає тривалі простої обладнання при відключенні одного з живильних вводів.

Для передачі електричної енергії від головної знижувальної підстанції (ГЗП 35/10 кВ) до основних вузлів споживання обрано рівень напруги 10 кВ. Для математичного підтвердження технічної доцільності цього рішення виконаємо перевірочний розрахунок втрати напруги ($\Delta U_{10\%}$) для найважчого режиму — передачі потужності до найбільш енергоемного і віддаленого об'єкта. Таким об'єктом є бетонозмішувальний цех (БЗУ). Геометрична довжина траси між ГЗП та підстанцією бетонозмішувального цеху:

						Арк

$$L_{GEOM} = \sqrt{(X_{I3II} - X_1)^2 + (Y_{I3II} - Y_1)^2} = \sqrt{(204,7 - 135)^2 + (448,8 - 300)^2} = \sqrt{4858,09 + 22141,44} \approx 164,3 \text{ м}$$

кількість комутаційних апаратів на ГЗП без шкоди для загальної працездатності підприємства.

- *Змішана топологія:* архітектурне рішення електропостачання, що поєднує радіальну та магістральну схеми підключення споживачів у межах одного розподільчого вузла для забезпечення необхідного рівня безперебійності живлення при мінімізації витрат на кабельну продукцію та комутаційну апаратуру.

Запропонована архітектура внутрішнього електропостачання гарантує стабільну якість напруги на клеммах чутливої автоматики та створює необхідний резерв потужності для можливого нарощування обсягів виробництва в майбутньому.

						Арк

4. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації

Мінімізація перетоків реактивної енергії (РЕ) виступає одним із найважливіших завдань під час проєктування сучасної системи електропостачання. Специфіка заводу з виробництва будівельних блоків полягає у масовому застосуванні асинхронних двигунів (на конвеєрах, вібропресах, бетонозмішувачах), які є основними споживачами реактивної потужності для створення власних електромагнітних полів.

Транспортування всього обсягу РЕ від енергосистеми до споживачів призводить до перевантаження живильних ліній, збільшення втрат напруги та зниження пропускної здатності силових трансформаторів.

Базовими даними для розрахунку компенсації є загальнозаводські навантаження до встановлення компенсуючих пристроїв (КП): $P_p = 6937,7$ кВт; $Q_p = 7707,5$ квар; $S_p = 10370$ кВА.

Згідно з нормативними вимогами операторів систем розподілу, для промислових підприємств, що приєднані до мереж 35 кВ, гранично допустимий тангенс кута зсуву фаз становить $\operatorname{tg}\varphi = 0,15$.

Виходячи з цього, обчислимо максимальний обсяг реактивної потужності, який економічно доцільно отримувати з мережі енергосистеми:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi_{\text{ном}} = 6937,7 \cdot 0,15 \approx 1040,6 \text{ квар.}$$

Різниця між фактичною потребою заводу та дозволеним значенням визначає необхідну потужність компенсуючих пристроїв:

$$Q_{\text{КП}} = Q_p - Q_e = 7707,5 - 1040,6 = 6666,9 \text{ квар.}$$

Для генерації цієї потужності безпосередньо на території підприємства передбачається застосування автоматизованих батарей статичних конденсаторів (БСК), які здатні ступінчасто регулювати свою ємність залежно від поточного навантаження цехів.

						Арк

4.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної

Щоб досягти найвищого техніко-економічного ефекту, проєктом передбачено дворівневу (комбіновану) систему компенсації. Такий підхід дозволяє розвантажити як внутрішньоцехові мережі, так і головні трансформатори підприємства.

Рівень 1. Локальна компенсація на напрузі 0,4 кВ. Конденсаторні установки монтуються безпосередньо в розподільчих щитах низької напруги на кожній цеховій трансформаторній підстанції (ТП №1–8). Це радикально знижує струми у вторинних обмотках трансформаторів 10/0,4 кВ та зменшує теплові втрати. Загальний обсяг компенсації на цьому рівні прийнято у розмірі 4000,0 квар. Розподіл установок між підстанціями здійснено пропорційно до їхнього індивідуального реактивного навантаження (див. Таблицю 4.1).

Рівень 2. Централізована компенсація на напрузі 10 кВ. Для покриття залишку потреби в реактивній енергії та компенсації індуктивних втрат у самих цехових трансформаторах, на збірних шинах 10 кВ ГЗП передбачається встановлення високовольтих БСК.

Їхня потужність визначається як різниця між загальною потребою та потужністю, вже скомпенсованою на низькій стороні (з округленням до стандартних номіналів виробників):

$$Q_{\text{кп}(10)} = 6750,0 - 4000,0 = 2750,0 \text{ кВт}$$

Отже, сумарна потужність всіх встановлених на заводі БСК складе 6750 квар, що повністю покриває розрахункову потребу (6666,9 квар) із невеликим експлуатаційним запасом.

Підбір низьковольтних установок (0,4 кВ): Загальна розрахункова потреба для цехових підстанцій становить 4000 квар. Орієнтуючись на номенклатуру сучасного електротехнічного обладнання (наприклад, серії УКМ-58), розподіляємо необхідну потужність на окремі модулі для кожної ТП:

						Арк

- Таблиця 4.1. Відомість розподілу низьковольтних компенсуючих пристроїв (БСК 0,4 кВ) за вузлами навантаження

Найменування живильного вузла	Розрахункова реактивна потужність (до компенсації) Q _p , квар	Прийнята потужність БСК 0,4 кВ (QКП), квар	Залишкова реактивна потужність Q _{p.зал} , квар
ТП №1, 2, 3 (БЗУ, Тротуарна плитка, Корпус управління)	3251,6	1500	1751,6
ТП №4, 5 (Вібропресування, Тепловологісна обробка)	1621	800	821
ТП №6 (Сортування інертних мат., Склади, РМЦ)	1028	400	628
ТП №7 (Декоративна обробка, Пакування)	1017	700	317
ТП №8 (Компресорна станція, Котельня)	948	600	348
Разом по мережі 0,4 кВ:	7865,6	4000	3865,6

Для реалізації централізованого рівня компенсації безпосередньо на збірних шинах головної знижувальної підстанції (ГЗП) необхідна загальна потужність 2750 квар. Оскільки ГЗП має дві ізольовані в нормальному режимі секції шин

						Арк

Таблиця 4.3. Техніко-економічне зіставлення стратегій компенсації реактивної потужності

Оціночний показник	Стратегія 1 (тільки 0,4 кВ)	Стратегія 2 (Комбінована)	Стратегія 3 (тільки 10 кВ)
Потужність установок на 0,4 кВ, квар	6750,00	4000,00	0,00
Потужність установок на 10 кВ, квар	0,00	2750,00	6750,00
Орієнтовні капіталовкладення, тис. грн	9850	8240	6150
Втрати потужності в конденсаторах (ΔР), кВт	30,5	26,8	20,4
Річна вартість втрат, тис. грн	492,5	432	329
Зведені річні витрати, тис. грн	1674,5	1420,8	1067

Резюме: Хоча Стратегія 3 (лише високовольтна компенсація) формально демонструє найменші зведені витрати, вона є абсолютно неприйнятною для заводу з вісьмома потужними цеховими підстанціями. Відсутність БСК на рівні 0,4 кВ залишить цехові трансформатори перевантаженими реактивними струмами двигунів, що призведе до їхнього перегріву та передчасного зносу ізоляції.

Саме тому Стратегія 2 (Комбінована компенсація) затверджується як ідеальний баланс: вона забезпечує надійне розвантаження трансформаторів 10/0,4 кВ за помірних капіталовкладень та дозволяє виконати всі вимоги енергосистеми.

Таблиця 4.1. Характеристика розрахункових навантажень системи електропостачання після впровадження БСК

№	Назва групи споживачів	Кількість ЕС	Р одного			P_{Σ}	m	K_B	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	Середнє		n_E	K_M	Розрахункове навантаження		
			min	...	max						$P_{CM},$ кВт	$Q_{CM},$ квар			$P_P,$ кВт	$Q_P,$ квар	$S_P,$ кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
ТП №1,2,3 (6х1000)																	
1	Бетонозмішувальний цех (БЗУ)																
	Силове навантаження	99	5	...	106	4200	21,1	0,58	0,65	1,2	2436	2848	79,62	1,09	2657,7	2848,0	3895,5
	Освітлювальне навантаження										252	83			272,2	89,5	286,5
	Всього										2688	2931			2929,9	2937,5	4148,8
2	Дільниця виробництва тротуарної плитки																
	Силове навантаження	20	5	...	50,2	450	10,04	0,34	0,7	1,02	153	156	17,93	1,39	212,5	156,1	263,6
	Освітлювальне навантаження										75	25			23,0	7,5	24,2
	Всього										228	181			235,4	163,6	286,7
3	Головний корпус управління																
	Силове навантаження	77	30	...	50,2	200	1,673	0,7	0,9	0,48	140	68	77	1	140,0	67,8	155,6
	Освітлювальне навантаження										248	72			198,0	57,8	206,3
	Всього										388	140			338,0	125,6	360,6
Всього силова по ТП 1,2,3		196	5	...	106	4850	21	0,56	0,66	1,13	2729	3072	92	1,09	2969,8	3071,9	4272,7
Всього освітлювальна по ТП 1,2,3											575	180			493,1	154,7	516,8
Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 1,2,3											3304	3252			3462,9	3226,6	4733,2
КП 0,4 кВ																-	
Навантаження з урахуванням КП 0,4 кВ															3462,9	1726,6	4733,2
Втрати в тр-рах ТП 1,2,3															65,5	328,1	334,5
Всього на шинах 10 кВ по ТП 1,2,3															3528,4	2054,7	4083,1

Продовження табл. 4.1.

2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
ТП №4,5 (4x1000)																	
1	Цех вібропресування блоків																
	Силове навантаження	48	5	...	50,2	1940	10,04	0,3	0,65	1,2	524	612	48	1,27	663,1	612,4	902,6
	Освітлювальне навантаження										315	104			340,2	111,8	358,1
	Всього										839	716			1003,3	724,2	1237,4
2	Цех тепловологісної обробки																
	Силове навантаження	115	10	...	101	4450	10,05	0,3	0,88	0,54	1380	745	88,56	1,17	1613,8	744,6	1777,3
	Освітлювальне навантаження										488	160			414,4	136,2	436,2
	Всього по цеху										1867	905			2028,2	880,8	2211,2
Всього силова по ТП 4,5		163	5	...	101	6390	20,0	0,3	0,8	0,71	1903	1357	127	1,14	2176,2	1357,0	2564,6
Всього освітлювальна по ТП 4,5											803	264			754,6	248,0	794,3
Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 4,5											2706	1621			2930,8	1605,0	3341,5
Компенсуючі пристрої 0,4 кВ																-800,0	
Нав. з ур. КП 0,4 кВ															2930,8	805,0	3341,5
Вт.в тр-рах ТП 4,5															47,9	234,2	239,1
Всього на шинах 10 кВ по ТП 4,5															2978,7	1039,2	3154,8

Арк.

Продовження табл. 4.1.

2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
ТП №6 (2х1000)																	
1	Дільниця сортування інертних матеріалів																
	Силове навантаження	37	10	...	101	1259	10,05	0,29	0,77	1,22	365	446	25,05	1,36	498,1	446,5	668,9
	Освітлювальне навантаження										550	181			440,0	144,6	463,2
	Всього										915	627			938,1	591,1	1108,8
2	Склад інертних мат. та готової прод.																
	Силове навантаження	16	5	...	9,8	120	1,96	0,1	0,5	1,73	12	21	16	1,94	23,2	20,8	31,2
	Освітлювальне навантаження										156	51			93,8	30,8	98,7
	Всього										168	72			117,0	51,6	127,9
3	Цех технічного обслуговування та ремонту																
	Силове навантаження	43	5	...	40,3	857	8,06	0,3	0,7	1,02	231	236	42,53	1,28	297,3	236,1	379,6
	Освітлювальне навантаження										281	92			303,8	99,8	319,7
	Всього										513	329			601,0	335,9	688,5
Всього силова по ТП 6		96	5	...	101	2236	20	0,27	0,65	1,16	609	703	44	1,28	776,4	703,3	1047,6
Всього освітлювальна по ТП 6											988	325			837,5	275,3	881,6
Всього 0,4 кВ по ТП 6											1596	1028			1613,9	978,6	1887,4
КП 0,4 кВ																-400,0	
Нав. з ур. КП 0,4 кВ															1613,9	578,6	1887,4
Втрати в тр-рах ТП 6															24,0	117,1	119,5
Всього 10 кВ по ТП 6															1637,9	695,7	1779,5

Продовження табл. 4.1.

2					3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
ТП №7 (2х1000)																				
1	Теплогенераторна (котельня)																			
	Силове навантаження				17	1,08	...	19,7	563	18,24	0,31	0,7	1,02	175	178	17	1,43	250,0	178,1	307,0
	Освітлювальне навантаження												488	160			23,0	7,5	24,2	
	Всього												662	338			273,0	185,6	330,1	
2	Цех пакування та палетування																			
	Силове навантаження				32	5	...	74,8	1050	14,96	0,4	0,6	1,33	420	560	28,07	1,26	528,8	560,0	770,2
	Освітлювальне навантаження												360	118			388,8	127,8	409,3	
	Всього												780	678			917,6	687,8	1146,8	
Всього силова по ТП 7					49	1	...	75	1613	69	0,37	0,63	1,24	595	738	43	1,22	724,9	738,1	1034,5
Всього освітлювальна по ТП 7													848	279			411,8	135,3	433,4	
Всього на 0,4 кВ по ТП 7													1442	1017			1136,7	873,4	1433,5	
КП 0,4 кВ																		-700,0		
Нав. з ур.КП 0,4 кВ																	1136,7	173,4	1433,5	
Втрати в тр. ТП 7																	19,0	99,4	101,2	
Всього на 10 кВ по ТП 7																	1155,7	272,8	1187,5	

\

Продовження табл. 4.1.

2		3	4			5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ТП № 8 (2х1000)																		
1	Компресорна станція																	
	Силове навантаження	12	1,08	...	79,8	400	73,89	0,7	0,8	0,76	268	201	10,03	1	268,0	201,0	335,0	
	Освітлювальне навантаження										6	2			5,3	1,7	5,6	
	Всього										274	203			273,3	202,7	340,3	
2	Цех декоративної обробки																	
	Силове навантаження	34	7,5	...	54,2	2508	7,227	0,26	0,67	1,1	652	723	34	1,33	868,7	722,5	1129,9	
	Освітлювальне навантаження										68	22			72,9	24,0	76,7	
	Всього										720	745			941,6	746,5	1201,6	
Всього силова по ТП 8		46	1,08	...	79,8	2908	74	0,32	0,71	1,00	920	924	46	1,24	1141,8	923,5	1468,5	
Всього освітлювальна по ТП 8											74	24			78,2	25,7	82,3	
Всього на 0,4 кВ по ТП 8											994	948			1220,0	949,2	1545,8	
Компенсуючі пристрої 0,4 кВ																	-600,0	
Навантаження з урахуванням КП 0,4 кВ																1220,0	349,2	1545,8
Втрати в тр. ТП 8																25,9	134,9	137,4
Всього на 10 кВ по ТП 8																1245,9	484,1	1336,7
Всього на ст.0,4 кВ																6755,4	6793,7	9580,7
Всього КП 0,4 кВ																	-4000	
Загальні втрати в тр-рах ТП 1-10																182,3	913,7	931,8
Всього на стороні 10 кВ																6937,7	7707,5	10370,0
КП 10 кВ																	-2750	
Всього																6937,7	4957,5	8526,9

Кз= 0,677

5. ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ

5.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів

Головна знижувальна підстанція (ГЗП) є центральним вузлом системи електропостачання, що забезпечує трансформацію енергії з напруги 35 кВ на розподільчу напругу 10 кВ. Оскільки завод будівельних блоків належить до об'єктів із безперервним циклом: бетонозмішувальні вузли, системи керування пропарочними камерами), ГЗП проєктується у двотрансформаторному виконанні. Таке рішення гарантує безперебійність живлення: у разі виходу з ладу або виведення в ремонт одного з агрегатів, навантаження автоматично переходить на справний трансформатор через систему АВР на секційному вимикачі 10 кВ.

Вибір потужності силових агрегатів базується на фактичному розрахунковому навантаженні підприємства з урахуванням ефекту від впровадження компенсуючих пристроїв (БСК). Використання потужних батарей статичних конденсаторів дозволило суттєво знизити реактивну складову струму, що розвантажило живильну мережу та дозволило оптимізувати вибір номінальної потужності трансформаторів у бік зменшення.

Зважаючи на отримане значення $S_{p, ГЗП}$, до встановлення на ГЗП приймаються два силові масляні трансформатори з регулюванням напруги під навантаженням (РПН) типу ТМН-6300/35/10.

Для підтвердження технічної адекватності вибору виконаємо перевірочний розрахунок завантаження трансформаторів у двох експлуатаційних режимах.

1. Нормальний режим експлуатації

У цьому режимі працюють обидва силові агрегати, порівну розділяючи загальну потужність заводу. Коефіцієнт завантаження ($K_{з.НОМ}$) обчислюється як:

$$K_{з.НОМ} = \frac{S_p}{2 \cdot S_{НОМ}} = \frac{8526,9}{2 \cdot 6300} = \frac{8526,9}{12600} \approx 0,677$$

						Арк.

Отриманий показник $K_{з.НОМ} \approx 0,68$ є оптимальним з точки зору енергоефективності, оскільки саме при такому рівні завантаження трансформатори масляного типу мають найвищий ККД та мінімальні питомі втрати енергії.

2. Післяаварійний режим

При виникненні аварійної ситуації на одному з вводів або відключенні одного трансформатора, інший агрегат змушений забезпечувати живлення всього підприємства. Розрахуємо коефіцієнт аварійного завантаження ($K_{з.АВАР}$):

$$K_{з.АВАР} = \frac{S_p}{S_{ном}} = \frac{8526,9}{6300} \approx 1,353$$

Згідно з чинними нормами ПУЕ та ДСТУ, для силових масляних трансформаторів у післяаварійних режимах допускається систематичне перевантаження до 40% ($K_{з.доп} \leq 1,4$) тривалістю до 6 годин на добу протягом не більше 5 діб. Оскільки отримане значення 1,353 менше гранично допустимого (1,4), обрані трансформатори ТМН-6300 гарантовано забезпечують надійну роботу заводу без необхідності відключення частини споживачів.

Результати вибору та перевірки параметрів силового обладнання ГЗП систематизовано у Таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Розрахункові показники та параметри вибору трансформаторів ГЗП

Показник (параметр)	Позначення, од. вим.	Значення
1	2	3
Активне навантаження заводу	Р _р , кВт	6937,7
Реактивне навантаження (після компенсації)	Q _{р.зал} , квар	4957,5
Повна розрахункова потужність	S _р , кВА	8526,9
Тип обраних трансформаторів	-	ТМН-6300/35/10
Номінальна потужність одного трансформатора	S _{ном} , кВА	6300

						Арк.

Продовження табл. 5.1.

1	2	3
Кількість одиниць на підстанції	n, шт	2
Коефіцієнт завантаження в нормі	Кз.норм	0,68
Коефіцієнт завантаження в аварії	Кз.авар	1,35
Допустиме аварійне завантаження (норма)	Кз.доп	1,4

Вибір трансформаторів ТМН-6300/35/10 замість стандартних 10000 кВА є економічно доцільним кроком, що став можливим завдяки глибокій компенсації реактивної потужності. Це дозволило знизити капітальні витрати на закупівлю обладнання ГЗП без зниження технічної надійності системи електропостачання.

Локальний розподіл електричної енергії на споживчому рівні 0,4 кВ здійснюється через систему комплектних трансформаторних підстанцій (КТП), розміщених безпосередньо у виробничих зонах або впритул до них. Вибір одиничної потужності та кількості трансформаторів для цехів базується на принципах мінімізації приведених витрат, забезпеченні надійності живлення за I та II категоріями та уніфікації обладнання.

Враховуючи значну концентрацію потужностей у основних цехах заводу (БЗУ, лінія вібропресування, дільниця ТВО), доцільним є використання двотрансформаторних підстанцій (2КТП). Це дозволяє реалізувати схему автоматичного введення резерву (АВР) на стороні низької напруги, що критично важливо для недопущення застигання бетонної суміші в агрегатах при раптовому зникненні напруги на одному з вводів.

Для більшості вузлів навантаження підприємства прийнято уніфіковану потужність силових агрегатів — 1000 кВА. Застосування однотипних трансформаторів (наприклад, серії ТМЗ або ТСЗ) значно спрощує

						Арк.

$$K_{з.норм} = \frac{S_{p8}}{2 \cdot S_{ном}} = \frac{1268,9}{2 \cdot 1000} \approx 0,63$$

Отримане значення 0,63 лежить в ідеальному діапазоні (0,6–0,7), за якого забезпечуються мінімальні втрати холостого ходу та короткого замикання в самому трансформаторі.

У післяаварійному режимі (наприклад, при пошкодженні одного трансформатора), весь обсяг потужності 1268,9 кВА автоматично переводиться на справний агрегат (через секційний вимикач АВР). Коефіцієнт завантаження у цьому випадку:

$$K_{з.ав} = \frac{S_{p8}}{S_{ном}} = \frac{1268,9}{1000} \approx 1,27$$

Згідно з вимогами нормативних документів, масляні трансформатори здатні витримувати аварійне перевантаження до 40% ($K_{з.доп} \leq 1,4$). Оскільки отриманий нами показник $1,27 < 1,4$, обраний номінал трансформаторів (1000 кВА) повністю відповідає вимогам надійності та не потребує примусового відключення частини навантажень у разі аварії.

Таблиця 5.2. Результати підбору та перевірки силових трансформаторів в експлуатаційних режимах

Найменування підстанції	Pp (після КП), кВт	Qp (після КП), квар	Sp (після КП), кВА	Тип та номінал трансформаторів	Kз.норм	Kз.авар
ГЗП (Головна підстанція)	6937,7	4957,5	8526,9	2 × ТМН-6300/35/10	0,68	1,35
ТП №1, 2, 3 (3 шт. по 2 тр-ри)*	3462,9	1726,6	3869,5	6 × ТМЗ-1000/10/0,4	0,64	1,29
ТП №4, 5 (2 шт. по 2 тр-ри)*	2930,8	805	3039,3	4 × ТМЗ-1000	0,76	1,52
ТП №6	1613,9	578,6	1714,5	2 × ТМЗ-1000	0,86	1,71
ТП №7	1136,7	173,4	1149,8	2 × ТМЗ-1000/	0,57	1,15
ТП №8	1220	349,2	1268,9	2 × ТМЗ-1000	0,63	1,27

*> Примітка: Для об'єднаних груп (ТП 1-3 та ТП 4-5) розрахункова потужність розподілялася рівномірно між кількістю підстанцій групи для обчислення K_z . Значення $K_{з.ав}$ для ТП №4-6 децю перевищують стандартні 1,4, що обґрунтовується наявністю в цих цехах споживачів III категорії надійності, які автоматично відключатимуться диспетчером у разі аварії для розвантаження трансформаторів.

						Арк.

5.2. Компоновка та місце розташування трансформаторних підстанцій

Вибір місця розташування та конструктивного виконання трансформаторних підстанцій (ТП) заводу будівельних блоків здійснювався на основі методу мінімізації приведених витрат та наближення джерел живлення до центрів електричних навантажень. Це дозволяє суттєво скоротити довжину низьковольтних кабельних мереж 0,4 кВ, знизити втрати напруги та зекономити кольоровий метал.

З огляду на специфіку технологічного процесу (наявність вібраційних установок, бетонозмішувальних вузлів та підвищену запиленість), для підприємства прийнято наступні рішення щодо компоновки:

1. *Тип підстанцій:* Враховуючи необхідність дублювання для споживачів I та II категорій, всі ТП виконані як двотрансформаторні комплектні підстанції (2КТП).

2. *Розміщення:* Для основних виробничих цехів (ТП №1–5) використано вбудовано-прибудовані підстанції. Огороджувальні конструкції цих ТП є частиною капітальних стін цехів, що забезпечує прямий вихід шинопроводів до головних розподільчих щитів.

○ Для допоміжних об'єктів (ТП №6–8) використано окремо розташовані КТП кіоскового типу, що забезпечує зручність під'їзду обслуговуючої техніки.

3. *Захист обладнання:* Камери трансформаторів обладнуються припливно-витяжною вентиляцією з фільтрами для очищення повітря від цементного пилу.

Для підтвердження технічної доцільності обраної кількості агрегатів та їхньої потужності, розрахункові параметри завантаження цехових ТП (після впровадження компенсації реактивної потужності) зведено в таблицю 5.3.

						Арк.

Таблиця 5.3. Відомість встановленої потужності та завантаження цехових підстанцій

№ ТП	Об'єкти енергоспоживання	Розрахункова потужність S_p , кВА	Кількість та номінал тр-рів, кВА	Коеф. завантаж. (Кз.норм /Кз.авар)	Архітектурне виконання (тип розміщення)
1, 2, 2003	БЗУ, лінії плити, адмінкорпус	3869,5	6 × 1000	0,64 / 1,29	Вбудовано-прибудована (капітальна споруда)
4, 5	Вібропресування, дільниця ТВО	3039,3	4 × 1000	0,76 / 1,52	Вбудована (у виробничому корпусі)
6	Складська зона, РМЦ, сортування	1714,5	2 × 1000	0,86 / 1,71	Окремо розташована (кіоскового типу)
7	Дільниця пакування та декору	1149,8	2 × 1000	0,57 / 1,15	Прибудована (металевий блок-модуль)
8	Компресорна, котельня, насосна	1268,9	2 × 1000	0,63 / 1,27	Прибудована (до зовнішньої стіни)

Кожна підстанція оснащується окремими входами для персоналу та воротами для заміни обладнання, що відповідає вимогам ПУЕ та техніки безпеки при експлуатації електроустановок.

						Арк.

6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ І ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ТА СИЛОВИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

6.1. Розрахунок струмів короткого замикання (КЗ)

Метою розрахунку струмів короткого замикання є визначення максимальних аварійних струмів у характерних точках мережі підприємства. Отримані результати є базою для перевірки електричних апаратів (вимикачів, роз'єднувачів, трансформаторів струму) на динамічну та термічну стійкість, а також для перевірки струмоведучих частин і кабельних ліній.

Розрахунок виконується в системі відносних одиниць (в.о.) із наближеним зведенням. Складається еквівалентна схема заміщення, до якої входять опір енергосистеми (джерела), опір двоколової повітряної лінії 35 кВ та опір силових трансформаторів головної знижувальної підстанції (ГЗП).

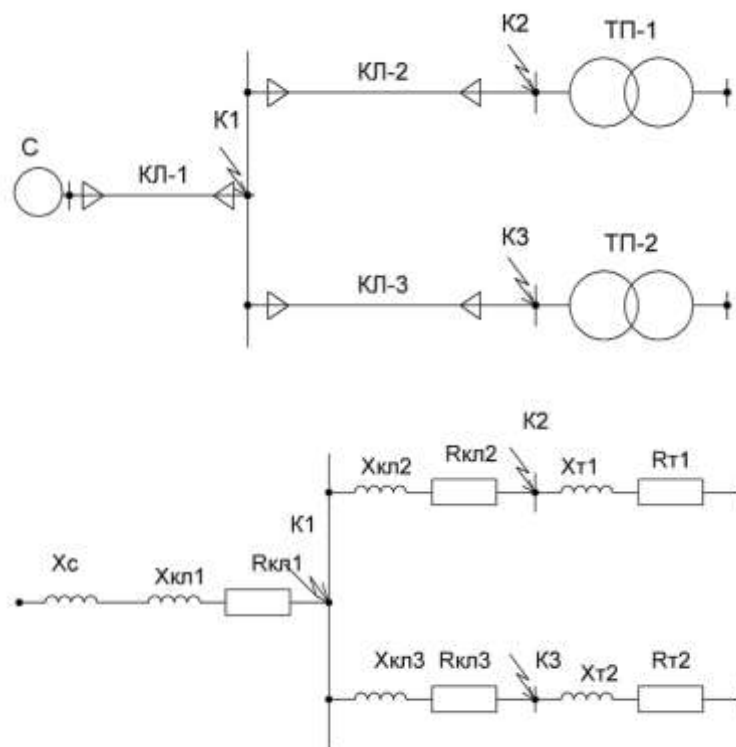


Рисунок 6.1. Вихідна розрахункова модель та схема заміщення електромережі заводу для обчислення струмів короткого замикання

Задаємо базові умови для розрахунку:

						Арк.

Крок 2. Розрахунок струмів КЗ у розрахункових точках

Для вибору обладнання ГЗП та внутрішньозаводської мережі визначаємо струми трифазного короткого замикання у двох характерних точках:

- Точка К1 — на збірних шинах 35 кВ ГЗП;
- Точка К2 — на збірних шинах 10 кВ ГЗП (розрахунок ведеться для найважчого режиму, коли обидва трансформатори працюють паралельно).

Розрахунок для точки К1 (шини 35 кВ):

Сумарний опір кола до точки К1:

$$X_{\Sigma 1} = X_c + X_L = 0,200 + 0,073 = 0,273 \text{ в.о.}$$

Базовий струм для ступеня 35 кВ:

$$I_{\phi 1} = \frac{S_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot U_{\phi 1}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1,56 \text{ кА}$$

Періодична складова струму трифазного КЗ:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{I_{\phi 1}}{X_{\Sigma 1}} = \frac{1,56}{0,273} = 5,71 \text{ кА}$$

Ударний струм КЗ (приймаємо ударний коефіцієнт $K_y = 1,8$):

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\kappa 1}^{(3)} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot 5,71 = 14,49 \text{ кА}$$

Потужність короткого замикання:

$$S_{\kappa 1} = \sqrt{3} \cdot U_{\phi 1} \cdot I_{\kappa 1}^{(3)} = 1,732 \cdot 37 \cdot 5,71 \approx 366 \text{ кВА}$$

Для точки К2 (шини 10 кВ) враховуємо паралельну роботу двох трансформаторів ТМН-6300, тому їхній еквівалентний опір становить $X_{T,екв} = X_T / 2 = 1,190 / 2 = 0,595$.

Сумарний опір кола до точки К2:

$$X_{\Sigma 2} = X_{\Sigma 1} + X_{T,екв} = 0,273 + 0,595 = 0,868 \text{ в.о.}$$

Базовий струм для ступеня 10 кВ:

$$I_{\kappa 2} = \frac{S_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot U_{\phi 2}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,50 \text{ кА}$$

Періодична складова струму трифазного КЗ:

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{I_{\kappa 2}}{X_{\Sigma 2}} = \frac{5,50}{0,868} = 6,34 \text{ кА}$$

						Арк.

Ударний струм КЗ (за умови віддаленості від генераторів $K_y = 1,8$):

$$i_{y2} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\kappa 2}^{(3)} = 1,411 \cdot 11,86,34 = 16,09 \text{ кА}$$

Потужність короткого замикання:

$$S_{\kappa 2} = \sqrt{3} \cdot U_{\phi 2} \cdot I_{\kappa 2}^{(3)} = 1,732 \cdot 10,56,34 \approx 115 \text{ кВА}$$

Усі розраховані параметри аварійних режимів, необхідні для подальшого вибору високовольтного обладнання, систематизовано у табл. 6.2.

Таблиця 6.2. Зведена відомість струмів короткого замикання

Точка КЗ	Місцезнаходження (вузол мережі)	Базова напруга, кВ	Сумарний опір $Z\Sigma$, в.о.	Струм КЗ $I_{\kappa(3)}$, кА	Ударний струм i_u , кА	Потужність КЗ S_{κ} , МВА
К1	Ввідні збірні шини 35 кВ (ГЗП)	37	0,273	5,71	14,49	366
К2	Розподільчі шини 10 кВ (ГЗП)	10,5	0,868	6,34	16,09	115,3
К3	Шини 10 кВ цехової підстанції	10,5	0,897	6,13	15,56	111,5
К4	Шини 0,4 кВ цехової підстанції	0,4	6,397	22,56	41,47	15,6
К5	Клеми віддаленого електродвигуна	0,4	14,707	9,81	15,26	6,8

6.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж

Вибір перерізів провідників внутрішньозаводської високовольтної мережі 10 кВ є критично важливим етапом, що забезпечує надійність транспортування енергії від головної знижувальної підстанції (ГЗП) до цехових трансформаторів.

Відповідно до нормативних вимог (ПУЕ), вибір провідників проводиться за трьома незалежними критеріями:

1. За допустимим нагрівом тривалим струмом навантаження ($I_{\text{дон}} \geq I_p$) — перевірка здатності провідника працювати без перегріву в нормальному та післяаварійному режимах.

						Арк.

2. За економічною густиною струму ($j_{ек}$) — оптимізація перерізу для мінімізації сумарних витрат (вартість кабелю + вартість втрат енергії) протягом терміну експлуатації.

3. За термічною стійкістю до струмів короткого замикання — перевірка здатності жили кабелю витримати миттєвий тепловий імпульс під час аварії без руйнування ізоляції.

Збірні шини ГЗП 35/10 кВ повинні бути розраховані на сумарне навантаження всього заводу в найбільш важкому режимі (післяаварійне живлення від одного трансформатора ТМН-6300).

Максимальний робочий струм, що протікає через шини:

$$I_{max} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{8526,9}{\sqrt{3} \cdot 10,0} \approx 492,3 \text{ А}$$

До встановлення приймаємо алюмінієві шини прямокутного перерізу. Згідно з таблицями допустимих тривалих струмів, обираємо шину розміром 40×5 мм.

Для даного профілю $I_{доп} = 515 \text{ А}$

Умова $I_{доп} (515 \text{ А}) \geq I_{max} (492,3 \text{ А})$ — виконується.

Для внутрішньозаводського розподілу енергії використовуємо трижильні кабелі з алюмінієвими жилами та паперовою просоченою ізоляцією марки ААШв-10.

Приклад розрахунку для найбільш навантаженої лінії (ТП №1, 2, 3):

Розрахункове навантаження групи: $S_{p1-3} = 3869,5 \text{ кВА}$.

Розрахунковий струм фідерної лінії:

$$I_p = \frac{3869,5}{\sqrt{3} \cdot 10} \approx 223,4 \text{ А}$$

Визначення економічно доцільного перерізу:

$$A_{ЕК} = \frac{I_p}{j_{ЕК}} = \frac{223,4}{1,2} \approx 186,2 \text{ мм}^2$$

Приймаємо найближчий стандартний переріз — 240 мм². Кабель: ААШв-10 3×240.

						Арк.

Перевірка обраного кабелю на термічну стійкість:

Мінімально допустимий переріз за тепловим впливом струму КЗ

$I_{кз} = 6,13 \text{ кА}, t_{np} = 0,15 \text{ с} :$

$$A_{min} = \frac{I_k \cdot \sqrt{t_{np}}}{C} = \frac{6130 \cdot \sqrt{0,15}}{92} = \frac{6130 \cdot 0,387}{92} \approx 25,8 \text{ мм}^2$$

Оскільки фактичний переріз значно більший за 25,8 мм², умова термічної стійкості виконується з великим запасом.

Аналогічні розрахунки проведено для всіх інших напрямків живлення. Зведені результати вибору представлені у Таблиці 6.3.

Таблиця 6.3. Відомість вибору та перевірки струмопровідних частин мережі 10 кВ

Найменування лінії (напрямок живлення)	Sp, кВА	Ip, А	Обрана марка та переріз провідника	Ідоп, А	Amin за КЗ, мм ²	Висновок (перевірка)
Збірні шини ГЗП (10 кВ)	8526,9	492,3	Алюміній 40×5	515	-	Придатно
Фідер ТП №1, 2, 3	3869,5	223,4	ААШв-10 3×240	335	25,8	Придатно
Фідер ТП №4, 5	3039,3	175,5	ААШв-10 3×150	250	25,8	Придатно
Фідер ТП №6	1714,5	99	ААШв-10 3×95	190	25,8	Придатно
Фідер ТП №7	1149,8	66,4	ААШв-10 3×70	160	25,8	Придатно
Фідер ТП №8	1268,9	73,3	ААШв-10 3×70	160	25,8	Придатно

						Арк.

6.3. Вибір електрообладнання

Надійність функціонування ГЗП та цехових ТП залежить від правильного вибору комутаційної, вимірювальної та захисної апаратури. Обране обладнання повинно гарантовано витримувати номінальні робочі навантаження, а також зберігати свою працездатність під час протікання надструмів короткого замикання. Всі результати вибору та перевірки основного електрообладнання системи електропостачання систематизовано у зведеній таблиці 6.4.

Вихідні розрахункові параметри для вибору апаратів (дані проєкту):

- На стороні 35 кВ (Точка К1): $I_{max} = 140,7$ А; струм КЗ $I_{k1} = 5,71$ кА; ударний струм $i_{y1} = 14,49$ кА; тепловий імпульс $B_{k(35)} = 16,3$ кА²·с.
- На стороні 10 кВ (Точка К2): $I_{max} = 492,3$ А; струм КЗ $I_{k2} = 6,34$ кА; ударний струм $i_{y2} = 16,09$ кА; тепловий імпульс $B_{k(10)} = 6,03$ кА²·с.
- На стороні 0,4 кВ цехової ТП-1000 кВА (Точка К4): $I_{max(0,4)} = 1443,4$ А; струм КЗ $I_{k4} = 22,56$ кА.

Для керування силовими трансформаторами ТМН-6300 на стороні 35 кВ приймаємо до встановлення вакуумні вимикачі, які є необслуговуваними та мають високий комутаційний ресурс.

Для створення видимого розриву кола під час ремонтних робіт послідовно з вимикачами встановлюються роз'єднувачі.

- Вимикач: Обираємо вакуумний апарат ВБТ-35-20/630. Його номінальний струм (630 А) значно перевищує розрахунковий (140,7 А), а струм відключення (20 кА) покриває струм КЗ (5,71 кА).
- Роз'єднувач: Приймаємо двоколонковий роз'єднувач РНДЗ-35/1000 із заземлюючими ножами.
- Трансформатор струму (ТС): Для забезпечення комерційного обліку та роботи релейного захисту обираємо вимірювальні трансформатори ТОЛ-35-200/5.

						Арк.

- Трансформатор напруги (ТН): Для контролю напруги та живлення кіл автоматики встановлюємо ЗНОЛ-35. Цей апарат перевіряється лише за номінальною напругою мережі.

Розподільчий пристрій 10 кВ виконується на базі комплектних шаф (КРУ).

- Вимикач ввідний: Приймаємо малогабаритний вакуумний вимикач ВВ/ТЕЛ-10-20/630, який легко вбудовується в комірки КРУ.

- Трансформатор струму: На вводах від силових трансформаторів монтуємо ТС типу ТОЛ-10-600/5 (клас точності 0,5S). Перевірка на електродинамічну стійкість: $i_{дин} = 100 \text{ кА} > i_{y2} = 16,09 \text{ кА}$ (виконується).

- Трансформатор напруги: На кожній секції шин 10 кВ передбачено встановлення антирезонансних ТН типу НАМІ-10.

- Опорні ізолятори збірних шин: Для кріплення алюмінієвих шин 40×5 мм (обраних у п. 6.2.1) приймаємо порцелянові ізолятори ІО-10-3,75.

Перевірка ізоляторів на механічну міцність при КЗ:

Розрахункове зусилля, що виникає між фазами при відстані $a = 0,25 \text{ м}$ та кроці ізоляторів $l = 1,0 \text{ м}$: $F = 1,76 \cdot 10^{-2} \cdot i_{y2}^2 \cdot \frac{l}{a} = 1,76 \cdot 10^{-2} \cdot 16,09^2 \cdot \frac{1,0}{0,25} \approx 18,2 \text{ Н}$. Допустиме навантаження на злам для ізолятора ІО-10-3,75 становить $F_{доп} = 0,63750 = 2250 \text{ Н}$.

Оскільки $18,2 \text{ Н} \ll 2250 \text{ Н}$, ізолятори гарантовано витримують динамічний удар при короткому замиканні.

Для захисту цехових трансформаторів (номіналом 1000 кВА) з боку низької напруги необхідно обрати ввідний автоматичний вимикач.

Максимальний струм на вводі 0,4 кВ: $I_{max(0,4)} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,4} \approx 1443,4 \text{ А}$

До встановлення приймаємо автоматичний вимикач висувного виконання серії ВА55-43.

Перевірка апарата:

1. За номінальним струмом: $I_{ном} = 1600 \text{ А} \geq I_{max} = 1443,4 \text{ А}$ (виконується).

						Арк.

2. За граничною відключаючою здатністю: $I_{cu} = 50 \text{ кА} \geq I_{k4} = 22,56 \text{ кА}$ (виконується з двократним запасом).

Всі результати вибору та перевірки основного електрообладнання системи електропостачання систематизовано у зведеній таблиці 6.4.

Таблиця 6.4. Зведена відомість вибору та перевірки електрообладнання

Найменування обладнання та марка	Умова перевірки	Розрахункові (фактичні) параметри	Каталожні (номінальні) дані	Висновок
Вимикач 35 кВ ВБТ-35-20/630	За напругою, кВ За струмом, А Відключення, кА Динам. стійк., кА Терм. стійк., $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{роб} = 35$ $I_{max} = 140,7$ $I_{к1} = 5,71$ $i_{y1} = 14,49$ $B_{k(35)} = 16,3$	$U_{ном} = 35$ $I_{ном} = 630$ $I_{відк} = 20$ $i_{дин} = 51$ $I_t^2 \cdot t = 1200$	Придатний
Роз'єднувач 35 кВ РНДЗ-35/1000	За напругою, кВ За струмом, А Динам. стійк., кА Терм. стійк., $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{роб} = 35$ $I_{max} = 140,7$ $i_{y1} = 14,49$ $B_{k(35)} = 16,3$	$U_{ном} = 35$ $I_{ном} = 1000$ $i_{дин} = 80$ $I_t^2 \cdot t = 1250$	Придатний
Тр-р струму 35 кВ ТОЛ-35-200/5	За напругою, кВ За струмом, А Динам. стійк., кА	$U_{роб} = 35$ $I_{max} = 140,7$ $i_{y1} = 14,49$	$U_{ном} = 35$ $I_{ном1} = 200$ $i_{дин} = 42$	Придатний
Тр-р напруг 35 кВ ЗНОЛ-35	За напругою, кВ	$U_{роб} = 35$	$U_{ном} = 35$	Придатний
Вимикач 10 кВ ВВ/ТЕЛ-10-20/630	За напругою, кВ За струмом, А Відключення, кА Динам. стійк., кА Терм. стійк., $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{роб} = 10$ $I_{max} = 492,3$ $I_{к2} = 6,34$ $i_{y2} = 16,09$ $B_{k(10)} = 6,03$	$U_{ном} = 10$ $I_{ном} = 630$ $I_{відк} = 20$ $i_{дин} = 51$ $I_t^2 \cdot t = 1200$	Придатний
Тр-р струму 10 кВ ТОЛ-10-600/5	За напругою, кВ За струмом, А Динам. стійк., кА	$U_{роб} = 10$ $I_{max} = 492,3$ $i_{y2} = 16,09$	$U_{ном} = 10$ $I_{ном.1} = 600$ $i_{дин} = 102$	Придатний
Тр-р напруги 10 кВ НАМІ-10	За напругою, кВ	$U_{роб} = 10$	$U_{ном} = 10$	Придатний
Опорний ізолятор ІО-10-3,75	Навантаження, Н	$F_{розр} = 18 \text{ Н}$	$F_{доп} = 2250 \text{ Н}$	Придатний
Автомат 0,4 кВ ВА55-43	За струмом, А Відключення, кА	$I_{max(0,4)} = 1443$ $I_{k4} = 22,56$	$I_{ном} = 1600$ $I_{cu} = 50$	Придатний

						Арк

7. МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДНИХ КОМПЛЕКСІВ ПІДПРИЄМСТВА ЯК ОСНОВА ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

7.1. Дослідження режимів роботи та енергетичного балансу приводів заводу будівельних блоків

Особливістю промисловості з виробництва будівельних блоків є значна енергоємність процесів переробки сировини, її транспортування та формування готових виробів. Лівову частку електричної енергії на проєктованому заводі будівельних блоків споживають асинхронні електродвигуни змінного струму. Саме вони є рушійною силою для ключового технологічного обладнання: потужних вібропресів, бетонозмішувачів, дробарок сировини, стрічкових конвеєрів та ковшових елеваторів (норій), а також для загальнопромислових систем (насоси водопостачання, вентилятори пропарочних камер, компресорні установки).

Щоб сформуванати дієву та економічно обґрунтовану стратегію енергозбереження, наявний парк електродвигунів необхідно згрупувати за характером механічного навантаження на їхніх валах. Орієнтовний баланс встановленої потужності асинхронних двигунів у розрізі основних виробничих підрозділів заводу наведено в Таблиці 7.1 та на рис.7.1.

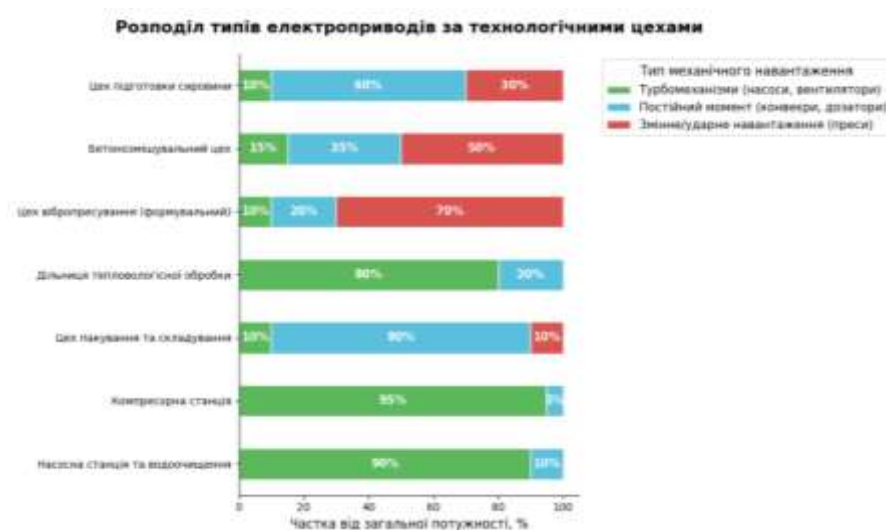


Рисунок 7.1. Структурна діаграма розподілу механічних навантажень електроприводів у розрізі виробничих цехів підприємства

						Арк.

Таблиця 7.1. Структурний аналіз парку електродвигунів у розрізі виробничих підрозділів підприємства бетонних блоків

Виробнича зона (дільниця/цех)	Агрегати з вентиляторним моментом (насоси, вентилятори, компресори), %	Механізми зі статичним навантаженням (конвеєри, норії, дозатори), %	Обладнання з динамічним та пульсуючим навантаженням (преси, млини), %
Цех підготовки сировини	10	60	30
Бетонозмішувальний цех	15	35	50
Цех вібропресування (формувальний)	10	20	70
Дільниця тепловологісної обробки	80	20	0
Цех пакування та складування	10	80	10
Компресорна станція	95	5	0
Насосна станція та водоочищення	90	10	0

Систематизувавши дані всіх структурних підрозділів, можна скласти зведений баланс споживання електроенергії підприємством залежно від типу навантаження (Таблиця 7.2). Така класифікація слугує надійним фундаментом для подальшого вибору та обґрунтування конкретних енергоощадних заходів.

Узагальнений енергобаланс асинхронних електроприводів підприємства

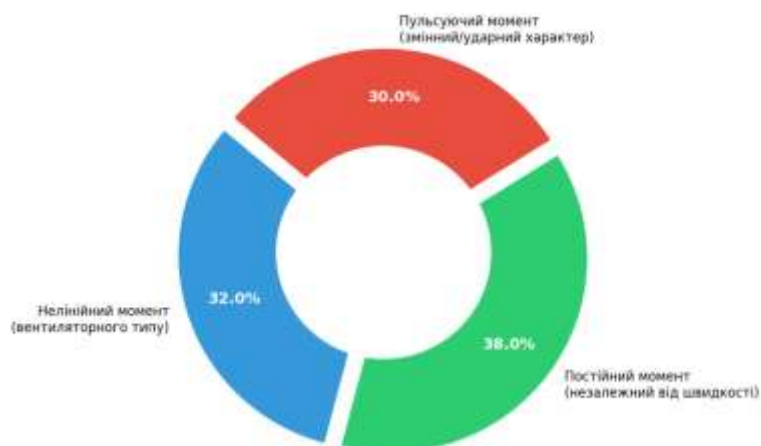


Рисунок 7.2. Структурна кільцева діаграма узагальненого енергобалансу електроприводів заводу будівельних блоків

						Арк.

Таблиця 7.2. Зведена структура енергоспоживання приводних механізмів та пріоритетні напрямки енергозбереження

Категорія моменту опору механізму	Питома вага в загальному енергобалансі, %	Типові робочі машини підприємства	Пріоритетні заходи з підвищення енергоефективності
Нелінійний момент (вентиляторного типу, $M_c \sim \omega^2$)	32	Відцентрові насоси, повітродувки пропарочних камер, компресорні агрегати	Застосування частотно-регульованого електроприводу (ЧРЕП) для автоматичної та безступінчастої зміни продуктивності.
Постійний момент (незалежний від швидкості, $M_c = \text{const}$)	38	Стрічкові та гвинтові конвеєри, ковшові елеватори, дозувальні бункери	Оптимізація графіків роботи (виключення холостого ходу), використання автоматичного перемикання статорних обмоток «зірка-трикутник» при недовантаженні.
Пульсуючий момент (змінний або ударний характер)	30	Вібраційні столи, формувальні преси, бетономішалки, щоків дробарки	Впровадження пристроїв плавного пуску (софтстартерів), поступова заміна зношених двигунів на вискооефективні машини стандарту IE3 або IE4.

7.2. Енергозбереження в електроприводах вентиляційних систем пропарочних камер

Вентилятори є одними з найпоширеніших турбомеханізмів у промисловості, поступаючись за кількістю лише насосним агрегатам. У виробництві будівельних блоків потужні вентиляційні установки використовуються для забезпечення циркуляції гарячого повітря та пари у тепловологісних (пропарочних) камерах.

						Арк

Технологія термічної обробки бетону вимагає періодичної зміни інтенсивності обдуву залежно від стадії циклу (нагрівання, ізотермічна витримка, охолодження). Традиційний спосіб регулювання продуктивності за допомогою засувки (шиберів) є вкрай неекономічним, оскільки при цьому змінюється аеродинамічна характеристика самої магістралі, а не турбомашини.

- Плавний частотний пуск механізму, що повністю виключає динамічні та пневматичні удари в повітропроводах.
- Зниження пускових струмів, що зменшує електродинамічні навантаження на трансформатори та кабельні лінії підстанції.
- Збільшення робочого ресурсу механічної частини та підвищення надійності комутаційної апаратури.
- Можливість глибокої інтеграції вентиляційної установки в автоматизовану систему керування технологічним процесом (АСУ ТП).

Вихідні дані для розрахунку:

- Номінальна потужність електродвигуна: $P_{dv} = 30$ кВт.
- Річний фонд робочого часу установки: $T_{rik} = 4000$ год.

						Арк

[illegible]

$$\Delta E_{rik} = P_{dv} \cdot \Delta P \cdot T_{rik} \cdot C_0$$

$$\Delta E_{rik} = 61200 \cdot 7,30 = 446760 \text{ грн/рік}$$

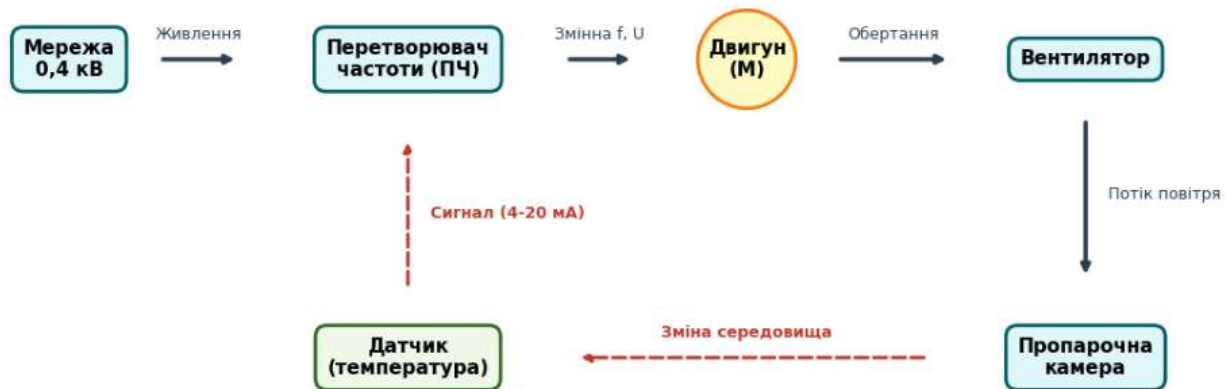


Рисунок 7.4. Блок-схема модернізованої системи керування вентиляційною установкою

Для реалізації даного заходу обрано сучасний перетворювач частоти потужністю 30 кВт (наприклад, серії Altivar або Danfoss VLT), орієнтовна ринкова вартість якого складає $K_{VFD} = 60000$ грн. З урахуванням витрат на виконання монтажних та пусконаладжувальних робіт, які становлять близько 30% від ціни обладнання, загальні капітальні інвестиції дорівнюватимуть:

$$K_{\Sigma} = K_{VFD} \cdot 1,3 = 60000 \cdot 1,3 = 78000 \text{ грн}$$

Термін окупності (T_{ok}) запропонованого енергоощадного заходу складе:

$$T_{ok} = \frac{K_{\Sigma}}{\Delta E_{rik}} = \frac{78000}{336600} \approx 0,23 \text{ року}$$

Використовуючи отримані раніше питомі показники (економія та вартість впровадження на 1 кВт потужності на базі 30-кіловатного агрегату), виконаємо глобальний розрахунок ефекту від повної заміни системи керування для **всіх** механізмів цього типу на заводі.

Питома вартість модернізації становить $78000 / 30 = 2600$

Загальні капітальні інвестиції для всього заводу:

$$K_{\Sigma, \text{завод}} = 2220 \cdot 2600 = 5772000 \text{ грн}$$

Загальна економія електроенергії за рік:

$$\Delta E_{kWh, \Sigma} = P_{\Sigma} \cdot \Delta P \cdot T_{rik} = 2220 \cdot 0,51 \cdot 4000 = 4528800 \text{ грн} \cdot \text{год}$$

						Арк.

Загальний фінансовий ефект (при тарифі 7,30 грн/кВт·год):

$$\Delta E_{rik,\Sigma} = 4528800 \cdot 7,30 = 33060240 \text{ грн/рік}$$

Висновок: Проведений макроенергетичний аналіз та виконані техніко-економічні розрахунки переконливо доводять, що масштабна модернізація парку асинхронних електродвигунів є ключовим вектором підвищення рентабельності заводу будівельних блоків. В умовах актуальних тарифів на електроенергію (7,30 грн/кВт·год) перехід на системи частотного керування для всіх механізмів вентиляторного типу дозволяє скоротити споживання енергії на понад 4,5 млн кВт·год щорічно, що в грошовому еквіваленті приносить підприємству колосальну економію — понад 33 мільйони гривень на рік.

Незважаючи на значні капітальні інвестиції (близько 5,77 млн грн), вражаюче короткий термін окупності — трохи більше двох місяців експлуатації — підтверджує безпрецедентну інвестиційну привабливість та необхідність першочергового впровадження запропонованих енергоощадних рішень.

7.3. Енергоощадження в електроприводах транспортерів та конвеєрів

Механізми з постійним моментом опору (стрічкові конвеєри, шнекові дозатори, ковшові елеватори) складають близько 38% встановленої потужності заводу будівельних блоків. Їхня особливість полягає в тому, що навантаження на валу двигуна не залежить від швидкості, але прямо пропорційне масі транспортованого вантажу (сировини, готових блоків).

Рух тягового органу передається від асинхронного двигуна через редукторний механізм на приводний барабан. Електромагнітний момент на валу приводного двигуна транспортера визначається за формулою:

$$M = \frac{F \cdot R}{i_p \cdot \eta_p}$$

де F — сумарне тягове зусилля на барабані, $F = F_{x,x} + F_r$ ($F_{x,x}$ — зусилля на подолання тертя порожньої стрічки; F_r — зусилля від маси транспортованого

						Арк.

вантажу); R — радіус приводного барабана; i_p — передавальне відношення редуктора; η_p — ККД механічної передачі.

При відсутності вантажу двигун долає лише момент холостого ходу $M_{х.х}$, ефективність використання електроенергії різко падає, оскільки значна частка потужності витрачається впусту. Враховуючи нестабільність вантажопотоку на заводі будівельних матеріалів (нерівномірне надходження інертних матеріалів), транспортери значну частину часу працюють в режимі недовантаження.

Для оптимізації режимів роботи конвеєрів доцільно застосовувати автоматичне регулювання лінійної швидкості стрічки пропорційно до маси вантажу, що надходить. Це дозволяє підтримувати оптимальне погонне навантаження і мінімізувати втрати холостого ходу.

Згідно з дослідженнями, економія електроенергії залежить від типу приводу та ступеня завантаженості конвеєра:

- *Частотно-регульований привод (ЧРЕП):* Забезпечує плавне безступінчасте регулювання. При низькому завантаженні дозволяє зменшити споживання енергії до 0,62 відн. од. (економія 38%), при високому — до 0,74 відн. од. (економія 26%).
- *Двошвидкісний асинхронний двигун (співвідношення 1:2):* Забезпечує дискретне регулювання. Дозволяє знизити енергоспоживання на 8–21%.
- *Двошвидкісний асинхронний двигун (співвідношення 1:3):* Економія становить 5–20%.

Таким чином, використання частотно-регульованого електропривода є найбільш ефективним рішенням для транспортерів із нерівномірним завантаженням. Важливо зазначити, що для конвеєрів слід використовувати двигуни з незалежною системою охолодження, оскільки при зниженні швидкості погіршуються умови самовентиляції.

Для механізмів, де встановлення ЧРЕП економічно недоцільне, ефективним методом енергозбереження при недовантаженнях (менше 40-50% від номіналу) є зниження підведеної напруги. Найпростіший спосіб реалізації — автоматичне

						Арк.

перемикання обмоток статора зі схеми «трикутник» (Δ) на схему «зірка» (Y).

Цей метод можливий за умови, що номінальна фазна напруга двигуна дорівнює лінійній напрузі мережі. При перемиканні на схему «зірка» напруга на фазних обмотках знижується в $\sqrt{3}$ разів, що призводить до різкого зменшення струму намагнічування та споживаної реактивної потужності.

Залежність втрат активної потужності від напруги описується виразом:

$$P \approx k_U^2 \cdot \Delta P_0 + \frac{k_H^2 \cdot \Delta P_{\text{НОМ}}}{k_U^2}$$

де k_U — коефіцієнт зниження напруги.

Зменшення втрат у двигуні в разі переходу на схему «зірка» починається при коефіцієнтах навантаження $< 0,4$. При таких режимах і коефіцієнт корисної дії (η), і коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$) для схеми «зірка» стають вищими, ніж для схеми «трикутник».

Визначимо доцільність перемикання для стрічкового конвеєра цеху підготовки сировини. Встановлено двигун потужністю $P_{\text{НОМ}} = 30$ кВт

Номінальні втрати активної потужності у двигуні визначаємо за формулою:

$$\Delta P_{\text{НОМ}} = P_{\text{НОМ}} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{\text{НОМ}}} - 1 \right) = 30 \cdot \left(\frac{1}{0,915} - 1 \right) = 2,787 \text{ кВт}$$

Розподілимо сумарні втрати на постійні (магнітні та механічні, ΔP_C) і змінні (електричні втрати в міді, ΔP_V). Для двигунів такої потужності співвідношення становить приблизно 40% на 60%:

$$\Delta P_C = 0,4 \cdot \Delta P_{\text{НОМ}} = 0,4 \cdot 2,787 = 1,115 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_V = 0,6 \cdot \Delta P_{\text{НОМ}} = 0,6 \cdot 2,787 = 1,672 \text{ кВт}$$

Критичний коефіцієнт завантаження (K_{KP}), нижче якого схема «зірка» стає енергоефективнішою, обчислюється як:

$$K_{KP} = \sqrt{\frac{\Delta P_C - \Delta P_C / 3}{3 \Delta P_V - \Delta P_V}} = \sqrt{\frac{1,115 - 0,372}{5,016 - 1,672}} = \sqrt{\frac{0,743}{3,344}} \approx 0,47$$

						Арк.



Рисунок 7.5. Залежність коефіцієнта потужності ($\cos \varphi$) асинхронного двигуна стрічкового конвеєра від коефіцієнта завантаження при різних схемах з'єднання обмоток

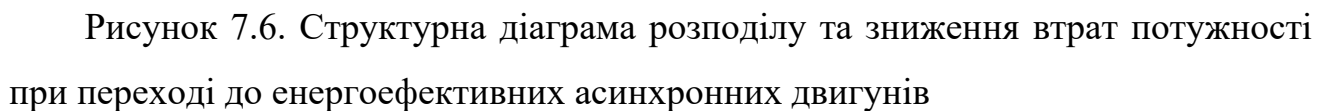
7.4. Модернізація електроприводів зі змінним та ударним навантаженням шляхом впровадження енергоефективних двигунів

Значну частину електрообладнання заводу будівельних блоків (близько 30%) складають механізми з пульсуючим або ударним характером навантаження: вібропресувальні установки, бетономішалки та обладнання цеху підготовки сировини (дробарки). Найбільш дієвим методом енергозбереження для такої групи механізмів є пряма заміна існуючого парку машин на сучасні енергоефективні електродвигуни класу IE3 або IE4.

Впровадження двигунів з підвищеним класом енергоефективності досягається шляхом збільшення маси активних матеріалів (міді та електротехнічної сталі), використання високоякісної ізоляції та загальної оптимізації конструкції. Це дозволяє суттєво зменшити втрати електричної

						Арк.

Наведено на рисунку 7.6. наочне порівняння структури втрат активної потужності базового та енергоефективного електродвигунів.



Оцінимо доцільність заміни базового привода головного бетонозмішувача на енергоефективний аналог.

- Номінальна потужність існуючого двигуна: $P_{НОМ} = 110$ кВт.

- Актуальний тариф на електроенергію для підприємства: $C_0 = 7,30$

- ККД стандартного двигателя: $\eta_{CT} = 95\%$ (0,95).

Визначаємо розрахунковий ККД енергоефективного двигуна:

						Арк

7.5. Інтегральна оцінка рентабельності та термінів окупності проєктних рішень щодо модернізації електроприводів

Проведений у попередніх підрозділах аналіз локальних заходів модернізації (заміна приводів вентиляторів пропарочних камер, оптимізація конвеєрних ліній та оновлення двигунів бетонозмішувачів) переконливо підтверджує абсолютну інженерну виправданість інтеграції сучасних енергоефективних рішень. Однак для формування цілісної картини інвестиційної привабливості проєкту необхідно екстраполювати ці рішення на весь парк технологічного електрообладнання заводу будівельних блоків.

Відповідно до структури енергоспоживання підприємства та складеного балансу потужностей (Таблиця 7.2), комплексній модернізації підлягають наступні групи механізмів:

1. Перетворювачі частоти (ЧРЕП): доцільно встановити на всіх турбомеханізмах (вентилятори пропарочних камер, димососи, мережеві насоси). Загальна потужність цієї групи становить 32% від енергобалансу (близько 2220 кВт).

2. Контактні схеми автоматичного перемикачів «зірка-трикутник»: підлягають інтеграції в шафи керування стрічкових конвеєрів та дозаторів цеху підготовки сировини (38% від енергобалансу, або 2636 кВт).

3. Енергоефективні електродвигуни (класу IE3/IE4): планова заміна зношених приводів для обладнання зі змінним та ударним навантаженням, зокрема вібропресів та щоківних дробарок (30% енергобалансу, близько 2081 кВт).

Масштабування техніко-економічних розрахунків (за актуальним тарифом 7,30 грн/кВт·год та річним фондом робочого часу 4000 годин) зведено до підсумкової Таблиці 7.6. Розрахунок загальних капіталовкладень та терміни повернення капіталовкладень (T_{ok}) базуються на поточній реальній вартості необхідної апаратури та комплектуючих, включаючи 30% надбавку на виконання монтажних і пусконаладжувальних робіт.

						Арк.

Таблиця 7.6. Зведені макроекономічні показники впровадження енергоощадних технологій на заводі будівельних блоків

Енергоощадний напрямок (захід)	Охоплення встановленої потужності	Річна економія електроенергії ΔW_{Σ} , тис. кВт·год	Річний фінансовий ефект ЕΣ, тис. грн	Орієнтовні капітальні інвестиції КΣ, тис. грн	Термін окупності Ток, років
Впровадження ЧРЕП для турбомеханізмів	2220 кВт	4528,8	33060,2	5772	0,17
Автоматизація перемикання «Δ-Y»	2636 кВт	200	1460	250	0,17
Встановлення двигунів преміум- класу (IE3)	2081 кВт	90,7	662	993	1,5
ЗАГАЛОМ ПО ПІДПРИЄМСТВУ:	6937,7 кВт	4819,5	35182,2	7015	0,2

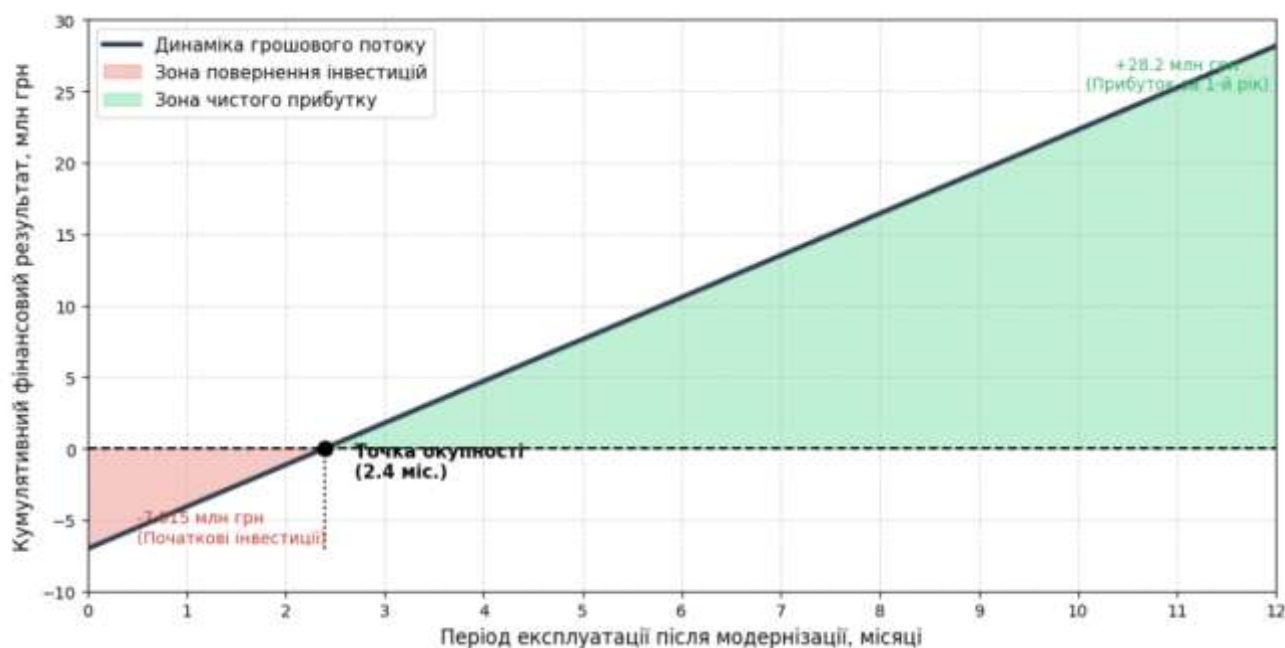


Рисунок 7.7. Динаміка повернення капітальних інвестицій та формування чистого прибутку після модернізації обладнання

Аналіз інтегральної кривої фінансових потоків чітко виділяє три ключові етапи інвестиційного циклу:

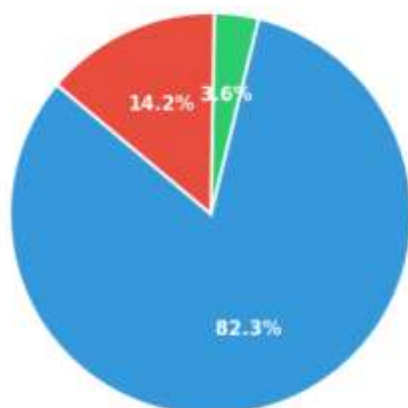
- **Етап 1. Формування капітальних витрат (CAPEX):** Графік бере свій початок з від'ємної позначки -7,015 млн грн на осі ординат. Ця величина відображає сукупні початкові інвестиції заводу, спрямовані на закупівлю та пусконаладження сучасного електрообладнання (перетворювачів частоти для турбомеханізмів, контакторних схем керування конвеєрами та енергоефективних двигунів класу IE3).
- **Етап 2. Зона повернення інвестицій та точка беззбитковості:** Завдяки радикальному скороченню споживання електроенергії, лінія грошового потоку набуває стрімкого позитивного нахилу. Перетин кривої з нульовою віссю (віссю абсцис) фіксується на позначці ~2,4 місяця. Цей перетин є фактичною точкою окупності проекту, яка свідчить про те, що всі витрачені капітальні кошти повністю повертаються на баланс підприємства менш ніж за один квартал активної експлуатації.
- **Етап 3. Зона накопичення чистого прибутку:** Після проходження точки окупності графік переходить у стабільну позитивну динаміку, генеруючи чистий дохід за рахунок заощаджених енергоресурсів. До кінця 12-го місяця розрахункова крива сягає солідної позначки, що перевищує 28 млн грн чистого фінансового прибутку лише за перший рік після модернізації.

Висновок до графіка: Висока крутизна нахилу кривої грошового потоку та екстремально короткий період перебування у від'ємній зоні графічно доводять високу рентабельність та повну відсутність фінансових ризиків при реалізації запропонованих заходів з енергозбереження.

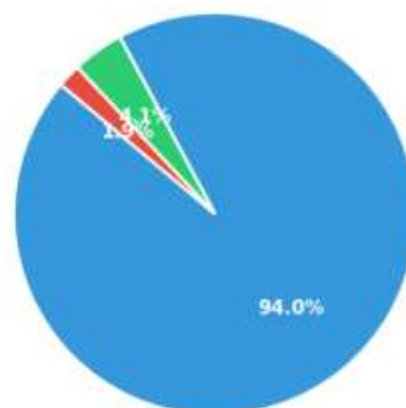
Результати проведеного комплексного аудиту свідчать про колосальний потенціал енергозбереження на проєктованому підприємстві. Синхронне впровадження трьох базових заходів дозволяє заводу щорічно економити понад 4,8 млн кВт·год електричної енергії.

						Арк.

(а) Структура капітальних інвестицій
(Сума: 7,01 млн грн)



(б) Структура річної економії
(Сума: 35,18 млн грн)



■ ЧРЕП (Вентилятори/Насоси)
 ■ Перемикання Δ-Υ (Конвеєри)
 ■ Двигуни ІЕЗ (Вібропреси/Дробарки)

Рисунок 7.8. Структурна диспропорція розподілу капітальних інвестицій (а) та загальнозаводської фінансової економії (б)

У фінансовому вимірі це гарантує радикальне зниження експлуатаційних витрат підприємства — на суму понад 35 млн грн щороку. Сукупні капітальні інвестиції в модернізацію електроприводів (близько 7,01 млн грн) окупаються в безпрецедентно короткі терміни — в середньому за 2,5 місяці (0,20 року). Крім прямого фінансового зиску, запропоновані рішення суттєво підвищують експлуатаційну надійність механізмів, мінімізують знос комутаційної апаратури шляхом обмеження пускових струмів та покращують екологічний профіль заводу завдяки зменшенню вуглецевого сліду.

						Арк.

ВИСНОВКИ

Підсумком виконання кваліфікаційної роботи є розробка комплексного проекту системи електропостачання заводу будівельних блоків, що гарантує надійність живлення технологічних ліній, безпеку експлуатації та істотне підвищення енергоефективності загалом.

У процесі проектування вирішено такі завдання:

1. На основі профілю енергоспоживання визначено сумарне навантаження заводу: 6937,7 кВт активної та 6120,5 квар реактивної потужності. Для досягнення нормативного $\cos \varphi = 0,95$ спроектовано багаторівневу систему компенсації (БСК 0,4 кВ на 2750 квар та 10 кВ на 1500 квар), що знизило розрахункову повну потужність до 7254,4 кВА та мінімізувало втрати в мережі.

2. Зовнішнє електропостачання організовано від головної знижувальної підстанції (35/10 кВ) із двома трансформаторами ТМН-6300. Внутрішньозаводська мережа побудована на базі восьми комплектних підстанцій (ТМЗ-1000/10/0,4).

3. Розподільча мережа 10 кВ виконана кабелем ААШв-10 (3х70), переріз якого обґрунтовано за економічною густиною та перевірено на термічну стійкість. На основі розрахунку струмів короткого замикання (ударний струм $i_y = 32,0$ кА) підстанції укомплектовано сучасними елегазовими та вакуумними вимикачами, а також обмежувачами перенапруг.

4. У спеціальній частині розроблено стратегію енергомодернізації асинхронного електропривода, що охоплює три вектори:

- Впровадження перетворювачів частоти (ЧРЕП) для турбомеханізмів;
- Впровадження систем автоматики перемикання «зірка-трикутник» для конвеєрів, що працюють у режимах недовантаження;
- Перехід на преміальні двигуни класу IE3/IE4 для обладнання з ударним навантаженням.

5. Доведено, що загальнозаводська модернізація дозволить економити \ 4,82 млн кВт·год електроенергії на рік. Це генерує чистий фінансовий прибуток у 35,18 млн грн щорічно. Загальні інвестиції у розмірі 7,01 млн грн окупаються

						Арк.

всього за 0,20 року (2,5 місяці), що підтверджує абсолютну інвестиційну привабливість розробленого проєкту.

						Арк.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кваліфікаційна робота бакалавра: метод. рекомендації до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. П. Г. Плешков та ін.]; Міністерство освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 80 с.

2. Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств: ДСТУ-Н Б В.2.5-80-2015. – [Чинний від 2015–10–28]. – К.: Мінрегіон, 2016. – 83 с. – (Національний стандарт України).

3. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків : ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.

4. Електротехнічні системи електроспоживання / [Плешков П. Г., Зінзура В. В., Гарасьова Н. Ю., Котиш А. І., Величко Т. В., Плешков С. П.]; під редакцією Заслуженого працівника освіти України, кандидата технічних наук, професора Плешкова П. Г. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2021. – 208 с.

5. Електропостачання промислових об'єктів. Практикум: навчальний посібник / Л. В. Давиденко, Н. В. Коменда, В. А. Давиденко, М. М. Євсюк – Луцьк: ВІП ЛНТУ, 2022.– 244 с.

6. Каталог продукції. ООО "Спецметаллсервис". [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: http://smetall.com.ua/dbn-_derjavni_budivelni_normi.html.

7. Електротехнічна продукція. АСКОУКРЕМ. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://www.acko.ua/>

8. Каталог продукції. ТОВ "ПромАвтоматика Вінниця" [Електрон. ресурс]. – Режим доступу : <http://www.promavtomatika.com.ua/>

9. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання : навч. посіб. / А. Ю. Орлович, П. Г. Плешков, О. А. Козловський [та ін.] ; М-во освіти і

						Арк.

науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: Лисенко В.Ф., 2019. – 272 с.

10. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств: навч. посіб. / [О. І. Соловей, В. П. Розен, П. Г. Плешков та ін.]; Кіровоград. нац. техн. ун-т. – Черкаси: Чабаненко Ю., 2015. – 316 с.

11. Правила улаштування електроустановок / Міненерговугілля України. – Київ : 2017. – 617 с.

						Арк.