

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет архітектури, будівництва та енергетики
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

Проектування системи електропостачання заводу гумотехнічних виробів
встановленою потужністю 1150 кВт.

спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ЕЕ-42
Марценюк Станіслав Андрійович

(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент
Собчук Дмитро Сергійович

(підпис)

Кваліфікаційний проєкт
допущено до захисту
«__» _____ 2026 р.
Гарант освітньої програми
к.т.н., доцент:
Волинець Владислав Ігорович

(підпис)

Луцьк – 2026 року

АНОТАЦІЯ

Марценюк Станіслав Андрійович. Проектування системи електропостачання заводу гумотехнічних виробів встановленою потужністю 1150 кВт. . Рукопис.

Кваліфікаційний проєкт бакалавра ОП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026 .

Кваліфікаційний проєкт бакалавра складається з п'яти розділів, списку використаних джерел, додатків.

Ціль роботи – розробити систему електропостачання та моделювання режимів роботи електродвигуна. При розробці СЕП підприємства виконувався: розрахунок електричних навантажень, визначення потужності компенсуючих пристроїв, вибір схеми живлення і розподілу електричної енергії, вибір напруги і конфігурації живлячих і розподільчих мереж, розрахунок струмів КЗ і вибір апаратури; а також вибір кількості, потужності і місця встановлення і типу підстанцій, розрахунок засобів релейного захисту і автоматики та т. ін.

Ключові слова: розрахунки, електричні навантаження, ієрархічний підхід, силові трансформатори, метод впорядковані діаграми

Annotation

Martsenyuk Stanislav Andriiovych. Design of the power supply system for a rubber products manufacturing plant with an installed capacity of 1150 kW. Manuscript.

Qualification project of the bachelor's degree "Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics" specialty 141 Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026 .

The bachelor's qualification project consists of five sections, a list of sources used, applications.

The purpose of the work is to develop a power supply system and simulate the operating modes of an electric motor. When developing the PSS of the enterprise, the following was carried out: calculation of electrical loads, determination of the power of compensating devices, selection of a power supply and distribution of electrical energy, selection of voltage and configuration of supply and distribution networks, calculation of short-circuit currents and selection of equipment; as well as the choice of the number, capacity and place of installation and type of substations, calculation of relay protection and automation, etc.

Keywords: calculations, electric loads, hierarchical approach, power transformers, ordered diagrams method

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ	9
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ	14
2.1. Розрахунок силового електричних навантажень	14
2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень	17
2.3. Визначення результуючих навантажень.....	18
2.4. Побудова картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень	19
2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів ТП з врахуванням компенсації реактивної потужності	19
2.6 Компенсація реактивної потужності	21
2.7 Визначення електричних навантажень на вищих рівнях СЕП.....	21
2.8 Проєктування мережі живлення підприємства	22
2.9 Проєктування внутрішньої розподільної мережі.....	22
2.10 Розрахунок струмів короткого замикання.....	24
2.11 Вибір апаратури	24
2.11.1. Вибір комплектних розподільчих пристроїв.....	24
2.11.2. Вибір роз'єднувачів.....	25
2.11.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників	25
2.12. Розрахунок низьковольтної мережі цеху.....	26
2.12.1. Вибір схеми електропостачання.....	26
2.12.2. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ	28
2.12.3. Вибір трансформаторів струму.....	31
2.12.4 Вибір автоматичних вимикачів	32
2.12.5 Вибір рубильників	33
2.13 Проєктування освітлювальної мережі	33
РОЗДІЛ 3 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ ВАЖКОГО ГУМОЗМІШУВАЧА.....	35
3.1. Теоретичний аналіз електромеханічних властивостей приводу	35
3.2. Математичний опис моментів інерції масивних роторів.....	35
3.3. Побудова тахограми нелінійного технологічного навантаження	36
3.4. Комп'ютерна модель у середовищі Simulink (Simscape Electrical)	37
3.5. Розрахунки та результати моделювання прямого пуску.....	37
3.6. Інтеграція моделі пристрою плавного пуску (Soft Starter)	38

					ЛНТУ.971048.000 ПЗ						
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування системи електропостачання заводу гумотехнічних виробів встановленою потужністю 1150 кВт. Пояснювальна записка				Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Марценюк С.А.								Д	6	72
Перевірів	Собчук Д.С.								ФАБЕ, гр ЕЕ-42		
Реценз.											
Н.контр	Васцелюк Ю.І.										
Затвердив	Волинець В.І.										

РОЗДІЛ 4 СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ (САПР). 39
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА..... 41
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ 42
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ..... 43
ДОДАТКИ 44
 Додаток А Використані методики..... 44

ВСТУП

Проектований завод гумотехнічних виробів із встановленою потужністю 1150 кВт є високотехнологічним промисловим підприємством, яке орієнтоване на масове та великосерійне виробництво спеціалізованих деталей для автомобільної, машинобудівної, аграрної та видобувної галузей. Основне призначення даного об'єкта полягає у забезпеченні внутрішнього та зовнішнього ринків високоякісними ущільнювачами, приводними пасами, віброізоляторами, конвеєрними стрічками та напірними рукавами.

Завод належить переважно до другої категорії надійності електропостачання, оскільки раптове переривання живлення може призвести до масового браку продукції через передчасне застигання або вулканізацію гумових сумішей безпосередньо у робочих органах дорогих машин, а також до значних економічних збитків, пов'язаних із тривалим простоем персоналу та обладнання під час очищення механізмів. Виробнича потужність підприємства розрахована на переробку кількох десятків тисяч тонн сировини на рік, що зумовлює високу інтенсивність усіх технологічних процесів.

Тривалість однієї зміни становить вісім годин, при цьому добовий графік електричних навантажень підприємства характеризується відносною рівномірністю з яскраво вираженими короточасними піками під час одночасного технологічного запуску потужних гумозмішувачів.

Технологічні особливості виробництва полягають у складній фізико-хімічній трансформації первинних сировинних матеріалів, таких як натуральний та синтетичні каучуки, технічний вуглець, сірка, прискорювачі та різноманітні пластифікатори, у готові вироби шляхом інтенсивного механічного та термічного впливу.

					ЛНТУ.971048.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

Організаційно та технологічно промисловий комплекс заводу розділений на сім логічно пов'язаних виробничих та допоміжних цехів, які спільно забезпечують безперервний повний цикл створення гумотехнічної продукції від прийому базової сировини до фінального відвантаження готових виробів замовникам. Розподіл електроенергії між цими цехами здійснюється від головного розподільчого пункту або головної знижувальної підстанції заводу через надійні радіальні та магістральні схеми живлення. Взаємозв'язок між підрозділами є настільки тісним, що зупинка будь-якого з них швидко призводить до порушення ритмічності всього підприємства, тому надійність внутрішньоцехових мереж є пріоритетним завданням для інженера-проєктувальника. Першим та фундаментальним підрозділом, від якого безпосередньо залежить фізико-механічна якість усієї подальшої продукції, є цех приготування та вальцювання гумових сумішей. У цьому великогабаритному підрозділі відбувається точне автоматизоване дозування сипучих та рідких компонентів, їхнє інтенсивне закрите перемішування у важких гумозмішувачах та подальша пластикація на відкритих вальцях для отримання абсолютно однорідної маси. Цей процес є беззаперечно найбільш енергоємним на всьому заводі через використання потужних високовольтних або низьковольтних синхронних та асинхронних електродвигунів, які постійно зазнають значних ударних навантажень під час захоплення шматків каучуку сталевими роторами. Після отримання та охолодження готової гумової суміші вона партіями транспортується до цеху екструзії та каландрування. Тут безперервна пластична стрічка під тиском пропускається через систему масивних нагрітих валків для отримання рівних листів заданої мікронної товщини або продавлюється через шнекові екструдери для формування складних профілів, труб та заготовок рукавів.

					ЛНТУ.971048.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування системи електропостачання заводу гумотехнічних виробів встановленою потужністю 1150 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Марценюк С.А.					Д	9	5
Перевірих	Собчук Д.С.					ФАБЕ, зр ЕЕ-42		
Реценз.								
Н.контр	Васцелюк Ю.І.							
Затвердив	Волинець В.І.							

Електрообладнання цього цеху потребує прецизійного регулювання швидкості та моменту приводів, що ефективно реалізується за рахунок впровадження сучасних тиристорних перетворювачів або частотно-регульованих приводів. Наступним найважливішим етапом технологічного ланцюжка є формовий цех, де з підготовлених сирих напівфабрикатів формуються кінцеві штучні вироби. Цей підрозділ щільно оснащений гідравлічними вулканізаційними пресами колонного та рамного типів, які потребують як електричної енергії для живлення індивідуальних або групових насосних станцій, так і значної електричної потужності для живлення трубчастих електронагрівників, вмонтованих у нагрівальні плити. Далі в структурі розташовується цех безперервної вулканізації, який призначений для остаточної тривалої термічної обробки довгомірних екструдованих виробів. У цьому підрозділі використовуються горизонтальні автоклави та розгалужені тунельні печі, які створюють постійне теплове навантаження на мережу та вимагають абсолютно безперебійного живлення електронних систем автоматики для запобігання термічному перепалу дорогої гуми. П'ятим технологічним підрозділом є цех механічної обробки та контролю якості. На цій ділянці відбувається кріогенна або механічна обрізка облою, фінішне шліфування поверхонь виробів, а також суворий візуальний та інструментальний контроль відібраних зразків на розрив, стиснення та хімічну стійкість до агресивних середовищ.

Обладнання цього цеху представлене чисельною верстатною групою дрібної та середньої потужності, а також чутливими високоточними вимірювальними комплексами, для яких критично важливою є ідеальна якість та стабільність напруги живлення. Для забезпечення безперебійної та безаварійної роботи всього важкого технологічного обладнання на території підприємства функціонує ремонтно-механічний цех. Його головним завданням є проведення регламентних поточних, середніх та невідкладних капітальних ремонтів складної оснастки, сталевих прес-форм та зношених елементів механічних приводів.

Цей цех має розгалужену внутрішню мережу силових штепсельних розеток, токарних верстатів та зварювальних трансформаторів, що характеризуються вкрай нерівномірним, несиметричним та повторно-короткочасним режимом споживання

					ЛНТУ.971048.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

електричної енергії з низьким коефіцієнтом потужності. Завершує загальний виробничий складське господарство та експедиція, що просторово розділені на зони прийому та відвантаження. Цей допоміжний підрозділ об'єднує глибокі склади сировини зі спеціальним підтримуваним мікрокліматом, стелажні склади готової продукції, а також криті естакади завантаження великотоннажного автомобільного транспорту. Основне електроспоживання тут стабільно припадає на потужні системи внутрішнього та зовнішнього освітлення, випрямні зарядні станції для парку акумуляторних виловних навантажувачів та розгалужене вентиляційне обладнання.

Електропостачання підприємства здійснюється від шин напругою 10 кВ існуючої ТП-10/0,4 кВ, відстань до якої становить 0,44 км. Потужність КЗ на шинах джерела живлення дорівнює 100 МВА.

Реактивна потужність, дозволена енергосистемою, становить 105 кВАр

Загальна територія підприємства становить 68625 м², площа будівель складає 8264 м². Характеристики об'єктів в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 - Характеристики об'єктів

Назва	S, m^2	$P_{вст\Sigma}, kV\cdot m$
Цех приготування та вальцювання гумових сумішей	1536	301,5
Цех екструзії та каландрування	1728	174
Формовий цех	1344	198
Цех безперервної вулканізації	864	155
Цех механічної обробки та контролю якості	1568	145
Ремонтно-механічний цех	576	86,5
Складське господарство та експедиція	648	90
Всього	8264	1150

Технологічний процес у цеху приготування та вальцювання гумових сумішей є базовим і найбільш енергоємним етапом усього циклу виробництва на заводі гумотехнічних виробів. Основне завдання цього підрозділу полягає у перетворенні твердого каучуку та різноманітних сипучих або рідких хімічних інгредієнтів у гомогенну пластичну масу, яка матиме строго задані фізико-механічні властивості

					ЛНТУ.971048.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

для подальшої вулканізації. Цей багатостадійний процес починається з подачі попередньо підготовлених матеріалів зі складу до зони змішування. Для забезпечення вертикального підйому та завантаження масивних блоків сировини використовується скиповий підйомник завантаження каучуку, призначення якого полягає у механізованому підйомі ковша з навіскою каучуку на рівень завантажувальної воронки гумозмішувача та його перекиданні, що дозволяє витримувати значні ударні навантаження та працювати в циклічному режимі. Оскільки якість майбутньої гуми критично залежить від точності рецептури, перед потраплянням до змішувальної камери всі компоненти проходять через автоматичний ваговий дозатор. Цей механізм призначений для прецизійного зважування та порційного скидання технічного вуглецю, сірки, прискорювачів та пластифікаторів, що гарантує абсолютну хімічну стабільність кожної окремої партії суміші та запобігає перевитраті дорогих матеріалів. Після дозування сировина потрапляє у гумозмішувач роторного типу, який є серцем усього цеху. Його призначення полягає в інтенсивній механічній пластикації твердого каучуку та глибокому диспергуванні в ньому всіх наповнювачів під впливом колосальних зсувних зусиль, які створюються двома масивними сталевими роторами складної форми, що обертаються назустріч один одному всередині закритої камери під великим тиском верхнього преса. Процес змішування супроводжується значним виділенням внутрішнього тепла, тому після вивантаження з камери розігріта до критичних температур безформна маса негайно подається на охолоджувальний барабан. Призначення цього механізму зводиться до швидкого зниження температури гумової суміші шляхом її контакту з металевими поверхнями, всередині яких безперервно циркулює холодна вода, що є життєво необхідним для запобігання передчасній спонтанній вулканізації.

Оскільки процеси транспортування сипучого технічного вуглецю та інтенсивного термічного перемішування супроводжуються рясним виділенням дрібнодисперсного струмопровідного пилу та шкідливих летких газів, для підтримання безпечних санітарних умов безперервно працює припливно-витяжна вентиляційна установка. Цей життєзабезпечувальний механізм призначений для локального відсмоктування забрудненого повітря безпосередньо від

					ЛНТУ.971048.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

завантажувальних горловин і вальців, його подальшого очищення в циклонних фільтрах та компенсації видаленого об'єму шляхом подачі чистого повітря у робочі зони. Після первинного охолодження гумова маса все ще потребує додаткової обробки, тому вона механічно перекидається на вальці підігрівальні. Їхнє призначення полягає у повторному розігріві, додатковій пластикації та усередненні властивостей суміші за рахунок сильного фрикційного впливу двох гладких валків, які обертаються з різною швидкістю. Для досягнення абсолютної гомогенності та руйнування будь-яких мікроскопічних агломератів матеріал пропускається через вальці рафінувальні. Цей механізм має мінімальний зазор між валками та підвищену фрикцію, його призначення — жорстке перетирання маси та остаточне видалення повітряних включень. Коли процес рафінування завершено, готова високоякісна суміш подається у машину листовальну, призначення якої полягає у калібруванні товщини матеріалу та формуванні з нього безперервного рівного листа заданих геометричних параметрів. На фінальному етапі лист підхоплюється фестонною установкою охолодження та укладки. Призначення цієї установки полягає у тривалому повітряному охолодженні гумового полотна, що зависає у вигляді петель (фестонів) на рухомих штангах, нанесенні антиадгезиву та автоматичному вкладанні охолодженої гуми на піддони, що завершує складний технологічний цикл підготовчого цеху.

Таблиця 1.2 - Характеристики обладнання

Назва	n	$P_{\text{вст}}$
Машина листовальна (МЛ-3)	2	22
Автоматичний ваговий дозатор (АВД-20)	3	12,5
Гумозмішувач роторного типу (РС-250М)	3	22
Охолоджувальний барабан (ОБ-1200)	3	15
Припливно-витяжна вентиляційна установка (ВЦ 4-70)	4	12,5
Вальці підігрівальні (Пд-800)	1	16,5
Вальці рафінувальні (Рф-800)	1	16
Скиповий підйомник завантаження каучуку (СП-250)	1	13
Фестонна установка охолодження та укладки (ФУ-800)	1	15,5

					ЛНТУ.971048.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ

					ЛНТУ.971048.000 ПЗ				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Марценюк С.А.			Проектування системи електропостачання заводу гумотехнічних виробів встановленою потужністю 1150 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевірів		Собчук Д.С.				Д	14	21	
Реценз.						ФАБЕ, зр ЕЕ-42			
Н.контр		Ващелюк Ю.І.							
Затвердив		Волинець В.І.							

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Група Б	Автоматичний ваговий дозатор (АВД-20)	12,5	1	12,5	0,18	0,75	0,88	1,76	7	2,20	2,25	1,98	39,33	11,37
	Вальці підігрівальні (Пд-800)	16,5	1	16,5	0,18	0,85	0,62				2,97	1,84		
	Гумозмішувач роторного типу (РС-250М)	22	1	22	0,18	0,88	0,54				3,96	2,14		
	Охолоджувальний барабан (ОБ-1200)	15	1	15	0,18	0,84	0,65				2,70	1,74		
	Вальці рафінувальні (Рф-800)	16	1	14	0,17	0,86	0,59				2,38	1,41		
	Скиповий підйомник завантаження каучуку (СП-250)	13	1	13	0,1	0,83	0,67				1,30	0,87		
	Фестонна установка охолодження та укладки (ФУ-800)	15,5	1	15,5	0,15	0,86	0,59				2,33	1,38		
	Електроприймачі з постійним графіком навантаження													
	Припливно-втяжна вентиляційна установка (ВЦ 4-70)	12,5	2	25	0,8	0,86	0,75				20,00	15,00	20,00	15,00
всього Б			9	133,5							37,89	26,37	59,33	26,37
ВСЬОГО по цеху			19	301,5							93,31	63,1	145,1	63,17

Результати розрахунків силового навантаження по підприємству в цілому зведемо в таблицю 2.2.

					ЛНТУ.971048.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 - Результати розрахунків силового навантаження

Назва	P_H , кВт	$P_{сер.зм}$, кВт	$Q_{сер.зм}$, кВАр	$S_{сер.зм}$, кВА	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА
Цех приготування та вальцювання гумових сумішей	301,50	93,31	63,17	112,68	145,12	63,17	158,28
РП 1	168,00	55,42	36,80	66,52	85,80	36,80	93,36
РП 2	133,50	37,89	26,37	46,16	59,33	26,37	64,92
Цех екструзії та каландрування	174,00	69,60	71,52	101,00	90,48	78,67	121,31
РП 1	90,48	36,19	48,14	60,22	47,05	52,95	70,83
РП 2	83,52	33,41	23,39	40,78	43,43	25,72	50,48
Цех безперервної вулканізації	198,00	69,30	48,51	84,59	108,11	53,36	120,56
РП 1	102,96	41,18	54,77	68,53	64,25	60,25	88,08
РП 2	95,04	47,52	33,26	58,01	74,13	36,59	82,67
Формовий цех	155,00	54,25	37,98	66,22	84,63	41,77	94,38
РП 1	80,60	40,30	28,21	49,19	62,87	31,03	70,11
РП 2	74,40	37,20	26,04	45,41	58,03	28,64	64,72
Цех механічної обробки та контролю якості	145,00	87,00	89,40	124,75	135,72	98,34	167,60
РП 1	75,40	45,24	60,17	75,28	70,57	66,19	96,75
РП 2	69,60	41,76	29,23	50,97	65,15	32,16	72,65
Ремонтно-механічний цех	86,50	30,28	21,19	36,96	47,23	23,31	52,67
РП 1	44,98	31,49	41,88	52,39	49,12	46,06	67,34
РП 2	41,52	29,06	38,66	48,36	45,34	42,52	62,16
Складське господарство та експедиція	90,00	31,50	22,05	38,45	37,80	24,26	44,91
РП 1	46,80	32,76	43,57	54,51	39,31	47,93	61,99
Всього	1150,00	435,23	353,82	560,90	649,09	382,89	759,71

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

Результати розрахунку зведемо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 - Розрахунок освітлювальних навантажень

Назва об'єкта	$F, \text{м}^2$	$h, \text{м}$	$P_{\text{норм}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	$P_o, \text{кВт}$	$K_{\text{пра}}$	K_n	$\cos\varphi$	$P_{p.o}, \text{кВт}$	$Q_{p.o}, \text{квар}$
Цех приготування та вальцювання гумових сумішей	1536	4	11	16,90	1	0,95	0,95	16,05	5,28
Цех екструзії та каландрування	1728	4	11	19,01	1	0,95	0,95	18,06	5,94
Формовий цех	1344	4	11	14,78	1	0,95	0,95	14,04	4,62
Цех безперервної вулканізації	864	4	10	8,64	1	0,85	0,95	7,34	2,41
Цех механічної обробки та контролю якості	1568	4	10	15,68	1	0,85	0,95	13,33	4,38
Ремонтно-механічний цех	576	4	10	5,76	1	0,85	0,95	4,90	1,61
Складське господарство та експедиція	648	4	10	6,48	1	0,85	0,95	5,51	1,81
Зовнішнє	68625		0,12	8,24	0,95	1	0,95	8,24	2,71
Всього	8264			95,48				87,46	28,75

2.3. Визначення результуючих навантажень

Результати розрахунків $P_{вст\Sigma}$ зведемо в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 - Визначення результуючих навантажень

Назва об'єкта		$P_{вст\Sigma}, \text{кВт}$	$P_{ср.зм\Sigma}, \text{кВт}$	$Q_{ср.зм\Sigma}, \text{квар}$	$S_{ср.зм\Sigma}, \text{кВА}$	$P_{p\Sigma}, \text{кВт}$	$Q_{p\Sigma}, \text{квар}$	$S_{p\Sigma}, \text{кВА}$
Цех приготування та вальцювання гумових сумішей	РП 1	184,90	71,47	42,07	82,94	85,80	36,80	93,36
	РП 2	133,50	37,89	26,37	46,16	75,38	31,65	81,75
	Σ	318,40	109,36	68,45	129,10	161,18	68,45	175,11
Цех екструзії та каландрування	РП 1	90,48	36,19	48,14	60,22	47,05	52,95	70,83
	РП 2	102,53	51,47	29,32	59,23	61,49	31,66	69,16
	Σ	193,01	87,66	77,46	119,46	108,54	84,61	139,99
Формовий цех	РП 1	102,96	41,18	54,77	68,53	64,25	60,25	88,08
	РП 2	109,82	61,56	37,88	72,29	88,18	41,21	97,33
	Σ	212,78	102,75	92,66	138,36	152,42	101,46	183,10
Цех безперервної вулканізації	РП 1	80,60	40,30	28,21	49,19	62,87	31,03	70,11
	РП 2	83,04	44,54	28,45	52,86	65,38	31,06	72,38
	Σ	163,64	84,84	56,66	102,03	128,24	62,09	142,48
Цех механічної обробки та контролю якості	РП 1	75,40	45,24	60,17	75,28	70,57	66,19	96,75
	РП 2	85,28	55,09	33,61	64,53	78,47	36,54	86,56
	Σ	160,68	100,33	93,78	137,33	149,05	102,72	181,02
Ремонтно-механічний цех	РП 1	44,98	31,49	41,88	52,39	49,12	46,06	67,34
	РП 2	47,28	33,96	40,26	52,67	50,24	44,13	66,87
	Σ	92,26	65,45	82,14	105,03	99,35	90,19	134,19
Складське господарство та експедиція	РП 1	46,80	32,76	43,57	54,51	39,31	47,93	61,99
	Σ	96,48	68,51	85,60	109,64	81,11	93,98	124,14
Зовнішнє		8,24	8,24	2,71	8,67	8,24	2,71	8,67
Всього		1245,48	627,12	559,45	849,60	888,13	606,20	1088,70

2.4. Побудова картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень

Результати розрахунків зведемо в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 - Результати розрахунків

Назва об'єкта	x, м	y, м	$Q_{P\Sigma} \cdot x$	$Q_{P\Sigma} \cdot y$	r	α	$P_{P\Sigma} \cdot x$	$P_{P\Sigma} \cdot y$
Цех приготування та вальцювання гумових сумішей	44	197	7705	34438	51	36	7092	31698
Цех екструзії та каландрування	31	41	4293	5786	42	60	3328	4486
Формовий цех	128	22	23437	4028	49	33	19510	3353
Цех безперервної вулканізації	145	203	20613	28972	45	21	18553	26076
Цех механічної обробки та контролю якості	216	176	39100	31859	49	32	32194	26232
Ремонтно-механічний цех	22	141	2952	18876	40	18	2186	13976
Складське господарство та експедиція	207	41	25656	5048	36	24	16762	3298
Ца	112,2	122,9						
Цр	204,1	212,8						
Всього			123755	129007			99625	109120

2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів ТП з врахуванням компенсації реактивної потужності

Результати вибору силових трансформаторів запишемо в таблицю 2.6:

Таблиця 2.6 - Результати вибору

Показник	І група	
	I	II
$P_{\text{ср.3м}\Sigma}, \text{кВт}$	627,12	627,12
$Q_{\text{ср.3м}\Sigma}, \text{кВАр}$	559,45	559,45
$S_{\text{ср.3м}\Sigma}, \text{кВА}$	849,60	849,60
$F, \text{м}^2$	8264	8264
Тип трансформатора	ТМ-630	ТМ-400
$N_{\text{min}}, \text{шт.}$	1,4	2,2
$N_{\text{опт}}, \text{шт.}$	2,0	4,0
$Q_{\text{max T}}, \text{кВАр}$	620,19	927,96
$Q_{\text{НБК1}}, \text{кВАр}$	0,0	0,0
K_{p1}	12	12
K_{p2}	15	10
γ	0,92	0,99
$Q_{\text{НБК2}}, \text{квар}$	0,00	0,00
$Q_{\text{НБК}}, \text{квар}$	0,00	0,0
Тип НБК	0	0
$\Delta P_X, \text{кВт}$	2,27	1,45
$\Delta P_K, \text{кВт}$	7,6	5,5
$\Delta W, \text{тис.кВт}\cdot\text{год}$	22,000	25,421
$C_e, \text{тис.грн.}$	308,005	355,895
$K, \text{тис.грн.}$	860,000	1360,128
$З, \text{тис.грн.}$	415,505	525,911
Перевірка трансформаторів на можливість перевантаження в аварійному режимі	$1,4 \cdot 630 = 882 \text{кВА} > \frac{2 \cdot (1 - 0,35) \cdot 849,60}{2} = 858 \text{кВА}$	

2.6 Компенсация реактивной мощности

Результаты расчетов зведемо в таблицю 2.7.

Таблица 2.7 - Результаты расчетов

Показник	Значения
$Q_{\text{ср.змс}}, \text{квар}$	559,45
$Q_{\text{емах}}, \text{квар}$	105
$Q_{\text{НБКф}}, \text{квар}$	0
$\Delta Q_{\text{Т}}, \text{квар}$	33
$K_{\text{НС}}$	0,75
$Q_{\text{М1}}, \text{квар}$	419,59
$Q_{\text{К1}}, \text{квар}$	314,59
$Q_{\text{НСТ}}, \text{квар}$	625,45
$Q_{\text{ВБК}}, \text{квар}$	380,59
Тип НБК	УКМ58-0.4-190/2,5

2.7 Визначення електричних навантажень на вищих рівнях СЕП

Результаты расчетов електричних навантажень на вищих рівнях СЕП зведемо в таблицю 2.8

Таблица 2.8 - Результаты расчетов

Розрахункове навантаження	Значения
$P_{\text{ср.змс}}, \text{кВт}$	627,12
$Q_{\text{ср.змс}}, \text{квар}$	559,45
$Q_{\text{НБК}}, \text{квар}$	380
$P_{\text{р3}}, \text{кВт}$	627,12
$Q_{\text{р3}}, \text{квар}$	179,45
$S_{\text{р3}}, \text{кВА}$	652,29
$\Delta P_{\text{Т}}, \text{кВт}$	13,05
$\Delta Q_{\text{Т}}, \text{квар}$	65,23
$P_{\text{р4}}, \text{кВт}$	640,17
$Q_{\text{р4}}, \text{квар}$	244,68
$S_{\text{р4}}, \text{кВА}$	685,34

2.8 Проектування мережі живлення підприємства

Результати розрахунків живлячих ліній АПвЕгаПу-10 (Одескабель) зведемо в таблицю 2.9

Таблиця 2.9

$F, \text{мм}^2$	$I_{\text{доп}}, \text{А}$	$I'_{\text{доп}}, \text{А}$	$r_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$x_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$\Delta U_{\text{норм}}, \text{В}$	$\Delta U_{\text{норм}}, \%$	$\Delta U_{\text{ПДВ}}, \%$	$K_{\text{ЗЛ}}$	$\Delta P_{\text{Н}}, \text{кВт}$	$\Delta P_{\text{Д}}, \text{кВт}$	$C_e, \text{тис. грн.}$	$З, \text{тис. грн.}$	$K, \text{тис. грн.}$
35	115	118,45	0,89	0,095	11,59	0,12	0,23	0,167	16,48	0,459822	10,1380	40,938	246,4
50	140	144,2	0,63	0,09	8,41	0,08	0,17	0,167	16,48	0,459822	10,1380	86,926	638
70	165	169,95	0,45	0,086	6,21	0,06	0,12	0,137	17,29	0,325492	7,17636	97,746	740,96
95	205	211,15	0,33	0,083	4,73	0,05	0,09	0,116	17,16	0,232494	5,12597	110,239	851,84
120	216	222,48	0,258	0,081	3,84	0,04	0,08	0,094	19,42	0,170496	3,75904	129,439	1012
150	246	253,38	0,206	0,79	9,63	0,10	0,19	0,089	16,86	0,133297	2,93889	154,147	1214,4
185	275	283,25	0,167	0,077	2,71	0,03	0,05	0,070	17,69	0,086281	1,90230	180,102	1425,6
240	314	323,42	0,115	0,075	2,07	0,02	0,04	0,061	15,88	0,059415	1,30997	219,110	1742,4

Обераємо - АПвЕгаПу-10 (Одескабель) перерізом 35мм²

2.9 Проектування внутрішньої розподільної мережі

Вибір ліній схем внутрішнього електропостачання кабелем ВБбШв (ЗЗКМ) та пунктом розподільчим ПР22-3044 (ВП ЕЛЕКТРОСЕРВІС) (250А) проведемо в таблиці 2.10 та 2.11

Таблиця 2.10 - Результати розрахунків

Назва КЛ	n	$S_{p\Sigma}, \text{кВА}$	$I_p, \text{А}$	$I_{\text{н.ав}}, \text{А}$	$l, \text{км}$	S	$I_{\text{доп}}, \text{А}$	$I'_{\text{доп}}, \text{А}$	$I''_{\text{доп}}, \text{А}$	$r_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$x_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$\Delta U_{\text{норм}}, \%$	$\Delta U_{\text{ПДВ}}, \%$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ТП-РП1.1	2	93,36	70,92	141,84	0,132	25	150	155	162	0,800	0,0700	2,91	5,82
ТП-РП1.2	2	81,75	62,11	124,21	0,144	25	150	155	162	0,800	0,0700	2,78	5,56
ТП-РП2.1	2	70,83	53,81	107,62	0,102	16	115	118	124,2	1,250	0,0700	2,61	5,21
ТП-РП2.2	2	69,16	52,54	105,08	0,138	16	115	118	162	0,800	0,0700	3,44	6,89
ТП-РП3.1	2	88,08	66,91	133,82	0,132	25	150	155	162	0,800	0,0700	2,75	5,49

					ЛНТУ.971048.000 ПЗ				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					22

Продовження таблиці 2.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ТП-РП3.2	2	97,33	73,94	147,88	0,15	25	150	155	124,2	1,250	0,0700	3,45	6,90
ТП-РП4.1	2	70,11	53,26	106,52	0,108	16	115	118	124,2	1,250	0,0700	2,73	5,46
ТП-РП4.2	2	72,38	54,98	109,97	0,144	16	115	118	124,2	1,250	0,0700	3,76	7,52
ТП-РП5.1	2	96,75	73,50	147,00	0,138	25	150	155	162	0,800	0,0700	3,15	6,31
ТП-РП5.2	2	86,56	65,76	131,52	0,144	25	150	155	162	0,800	0,0700	2,94	5,89
ТП-РП6.1	2	67,34	51,16	102,31	0,09	16	115	118	124,2	1,250	0,0700	2,19	4,37
ТП-РП6.2	2	66,87	50,80	101,59	0,144	16	115	118	124,2	1,250	0,0700	3,47	6,95
ТП-РП7.1	2	61,99	47,09	94,18	0,102	16	115	118	124,2	1,250	0,0700	2,28	4,56

Таблиця 2.11 - Результати розрахунків

Назва	$S_{p\Sigma}$, <i>кВА</i>	I_p , <i>А</i>	$I_{доп}$, <i>А</i>
Цех приготування та вальцювання гумових сумішей	93,36	70,92	250
	81,75	62,11	250
Цех екструзії та каландрування	70,83	53,81	250
	69,16	52,54	250
Формовий цех	88,08	66,91	250
	97,33	73,94	250
Цех безперервної вулканізації	70,11	53,26	250
	72,38	54,98	250
Цех механічної обробки та контролю якості	96,75	73,50	250
	86,56	65,76	250
Ремонтно-механічний цех	67,34	51,16	250
	66,87	50,80	250
Складське господарство та експедиція	61,99	47,09	250

2.10 Розрахунок струмів короткого замикання

$S_{кз} = .100$ МВА . Результати розрахунків запишемо в таблицю 2.12

Таблиця 2.12 - Результати розрахунків

Показник	Значення
$S_{кз}$ МВА	100
$\dot{X}_{C*}$	1,000
$\dot{X}_{КЛ1*}, \dot{X}_{КЛ2*}$	0,038
$\dot{X}_{КЛ12*}$	0,019
$\dot{X}_{рез*}$	1,019
I_6 кА	5,50
I_{n0} кА	5,396
k_y	1,4
i_y кА	10,684
$K_T \frac{A \cdot c^{1/2}}{MM^2}$	118
t_n с	0,25
F_{min} мм ²	22,9
B_K кА ² ·с	7,28

2.11 Вибір апаратури

2.11.1. Вибір комплектних розподільчих пристроїв

Для розподілу електроенергії на стороні ТП 10 кВ ми приймаємо камери камери серії КСО-298 (Електричні Системи) з, ВН-РА 030-10-630 УЗ (УкрЕлектрокомплект) Результати перевірки зводимо в таблицю 2.13. Розподільний вузол 0,4 кВ виконаний у вигляді двох збірних шин з панелями ЩО-04 (ТОВ «Енерго Аisen»).

					ЛНТУ.971048.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Таблиця 2.13 - Результати розрахунків

показник	Розрахункові дані
$U_{уст}, \text{кВ}$	10
$I_{норм}, \text{А}$	19,78
$I_{max}, \text{А}$	39,57
$i_y, \text{кА}$	10,684
$I_{n0} \text{кА}$	7,28

2.11.2. Вибір роз'єднувачів

Результати перевірки роз'єднувачів РВЗ-10/630 УХЛ2 (УкрЕлектро) зведемо в таблицю 2.14

Таблиця 2.14 - Результати розрахунків

показник	Розрахункові дані
$U_{уст}, \text{кВ}$	10
$I_{норм}, \text{А}$	19,78
$I_{max}, \text{А}$	39,57
$i_y, \text{кА}$	10,684
$I_{n0} \text{кА}$	5,396
$B_K, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	7,28

2.11.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників

Результати перевірки вимикачів навантаження ВНА(п) 10/630 (Славгор Енерго) таблицю 2.15.

Таблиця 2.15 - Результати перевірки вимикачів навантаження

показник	Розрахункові дані
$U_{уст}, \text{кВ}$	10
$I_{норм}, \text{А}$	19,78
$I_{max}, \text{А}$	39,57
$i_y, \text{кА}$	10,684
$I_{n0} \text{кА}$	5,396
$B_K, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	7,28

Вибираємо запобіжника Е.РТ.1.1.10.80 (Е.NEXT), результати перевірки запобіжників зведемо в таблицю 2.16.

					ЛНТУ.971048.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Таблиця 2.16 - Результати перевірки запобіжників

Показник	Розрахункові дані
$U_{уст}, \text{кВ}$	10
$I_{max}, \text{А}$	39,57
$I_{n0} \text{кА}$	5,396
$B_K, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	7,28

2.12. Розрахунок низьковольтної мережі цеху

2.12.1. Вибір схеми електропостачання

Результати вибору кабелів цех приготування та вальцювання гумових сумішейведемо в таблицю 2.17.

Таблиця 2.17 - Результати вибору кабелів

Назва електроприймача	$P_H, \text{кВт}$	$\cos \varphi$	$I, \text{А}$	$F, \text{мм}^2$	$I_{тр.доп}, \text{А}$	Кабель
Група А						
Машина листовальна (МЛ-3)	22	0,8	41,78	10	66	ВВГнгд -4х10
Автоматичний ваговий дозатор (АВД-20)	12,5	0,75	25,32	4	37	ВВГнгд -4х4
Гумозмішувач роторного типу (РС-250М)	22	0,88	37,98	10	66	ВВГнгд -4х10
Охолоджувальний барабан (ОБ-1200)	15	0,84	27,13	6	49	ВВГнгд -4х6
Припливно-витяжна вентиляційна установка (ВЦ 4-70)	12,5	0,86	22,08	4	37	ВВГнгд -4х4
Група Б						
Автоматичний ваговий дозатор (АВД-20)	12,5	0,75	25,32	4	37	ВВГнгд -4х4
Вальці підігрівальні (Пд-800)	16,5	0,85	29,49	6	49	ВВГнгд -4х6
Гумозмішувач роторного типу (РС-250М)	22	0,88	37,98	10	66	ВВГнгд -4х10
Охолоджувальний барабан (ОБ-1200)	15	0,84	27,13	6	49	ВВГнгд -4х6
Вальці рафінувальні (Рф-800)	16	0,86	28,27	6	49	ВВГнгд -4х6
Скиповий підйомник завантаження каучуку (СП-250)	13	0,83	23,80	4	37	ВВГнгд -4х4
Фестонна установка охолодження та укладки (ФУ-800)	15,5	0,86	27,38	6	49	ВВГнгд -4х6
Припливно-витяжна вентиляційна установка (ВЦ 4-70)	12,5	0,86	22,08	4	37	ВВГнгд -4х4

					ЛНТУ.971048.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Результати перевірки кабелів за втратами напруги зведемо в таблицю 2.18.

Таблиця 2.18 - Результати перевірки кабелів

Назва електроприймача	n	$r_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$x_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	l, км	$\Delta U\%$	Провід
Група А						
Машина листовальна (МЛ-3)	2	2	0,07	0,212	6,629	ВВГнгд -4х10
				0,2180,2 24	6,8177,00 5	ВВГнгд -4х10
Автоматичний ваговий дозатор (АВД-20)	2	5	0,09	0,23	10,113	ВВГнгд -4х4
				0,2360,2 42	10,37710, 641	ВВГнгд -4х4
Гумозмішувач роторного типу (РС-250М)	2	2	0,07	0,246	7,637	ВВГнгд -4х10
				0,258	8,010	ВВГнгд -4х10
Охолоджувальний барабан (ОБ-1200)	2	3,33	0,09	0,212	7,461	ВВГнгд -4х6
				0,234	8,236	ВВГнгд -4х6
Припливно-витяжна вентиляційна установка (ВЦ 4-70)	2	5	0,09	0,248	10,849	ВВГнгд -4х4
				0,242	10,586	ВВГнгд -4х4
Група Б						
Автоматичний ваговий дозатор (АВД-20)	2	5	0,09	0,212	9,322	ВВГнгд -4х4
				0,212	9,322	ВВГнгд -4х4
Вальці підігрівальні (Пд-800)	2	3,33	0,09	0,224	8,666	ВВГнгд -4х6
				0,224	8,666	ВВГнгд -4х6
Гумозмішувач роторного типу (РС-250М)	2	2	0,07	0,238	7,389	ВВГнгд -4х10
				0,244	7,575	ВВГнгд -4х10
Охолоджувальний барабан (ОБ-1200)	2	3,33	0,09	0,239	8,201	ВВГнгд -4х6
				0,239	8,201	ВВГнгд -4х6
Вальці рафінувальні (Рф-800)	1	3,33	0,09	0,215	8,285	ВВГнгд -4х6
				0,221	8,285	ВВГнгд -4х6
Скиповий підйомник завантаження каучуку (СП-250)	1	5	0,09	0,214	9,749	ВВГнгд -4х4
Фестонна установка охолодження та укладки (ФУ-800)	1	3,33	0,09	0,219	7,954	ВВГнгд -4х6
Припливно-витяжна вентиляційна установка (ВЦ 4-70)	2	5	0,09	0,241	10,543	ВВГнгд -4х4
				0,248	10,959	ВВГнгд -4х4

2.12.2. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ

Розрахункова схема та схема заміщення короткозамкненого кола зображені на рисунках 2.1 та 2.2. Вихідні дані для розрахунку зведені в таблицю 2.19.

Таблиця 2.19 - Розрахунок струмів короткого замикання

Показник	Значення
U_0 кВ	0,4
$I_{к10}$ кА	5,396
U_{c10} кВ	10,5
$S_{ном.Т}$ кВА	630
ΔP_k кВт	7,6
u_k %	5,5

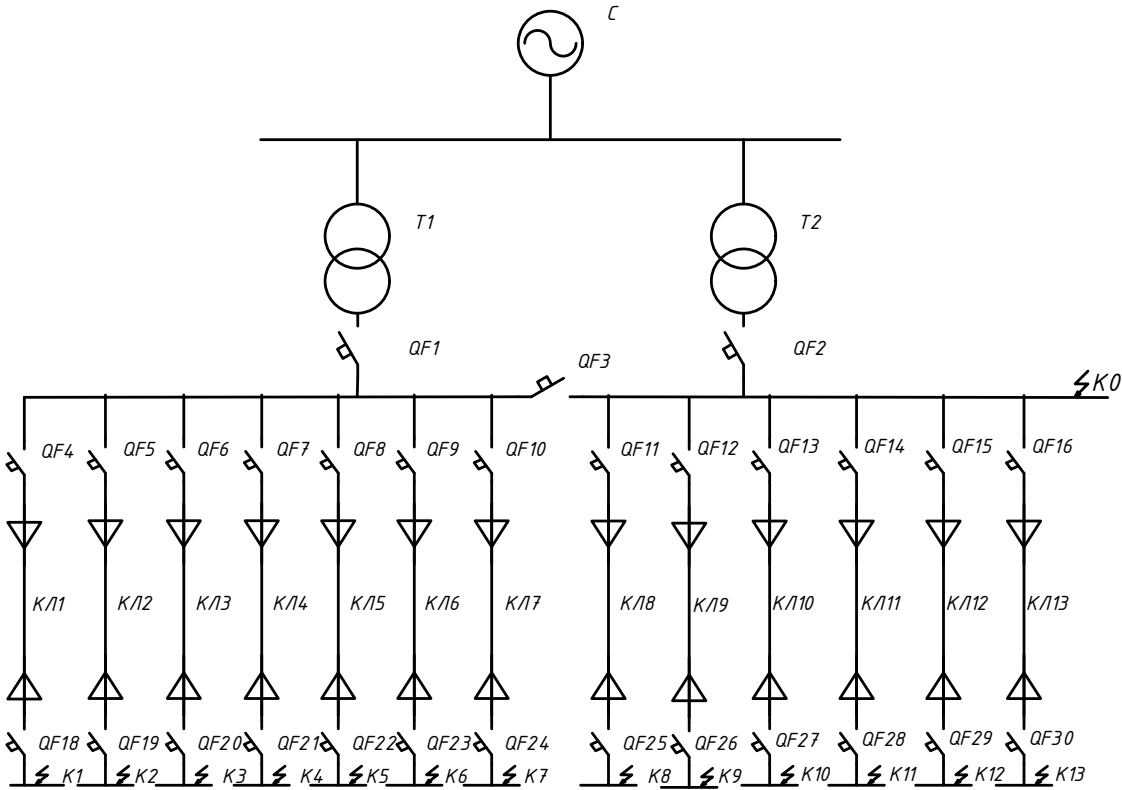


Рисунок 2.1 - Розрахунок струмів короткого замикання

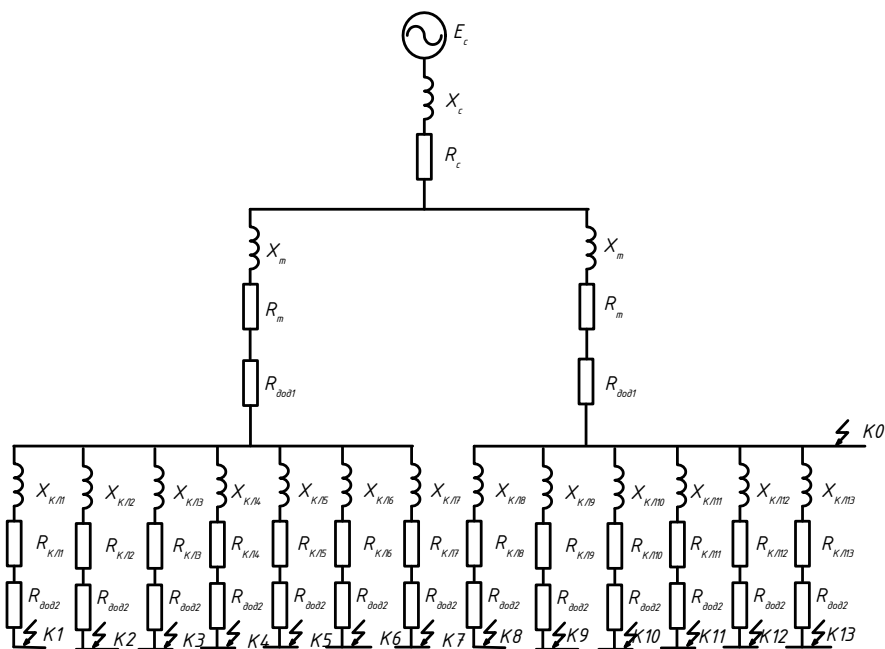


Рисунок 2.2 - - Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахуємо струми КЗ, результати розрахунків зведемо в таблицю 2.20.

Таблиця 2.20 - Результати розрахунків

Показник	Значення
R_C Ом	0,392
X_C Ом	1,123
$\dot{R}_C$ МОм	0,568
$\dot{X}_C$ МОм	1,630
$\dot{R}_T$ МОм	3,064
$\dot{X}_T$ МОм	13,968
$\dot{R}_{рез0}$ МОм	18,632
$\dot{X}_{рез0}$ МОм	15,599
$Z_{рез0}$ МОм	24,300
I_K кА	9,504
k_y —	1,05
i_y кА	14,113

Результати розрахунків опорів зведемо в таблицю 2.21.

Таблиця 2.21- Результати розрахунків

Назва кабельної лінії	l, км	$r_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	R, мОм	$x_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	X, мОм
ТП-РП1.1	0,132	0,800	105,6	0,0700	9,24
ТП-РП1.2	0,144	0,800	115,2	0,0700	10,08
ТП-РП2.1	0,102	1,250	127,5	0,0700	7,14
ТП-РП2.2	0,138	0,800	172,5	0,0700	9,66
ТП-РП3.1	0,132	0,800	105,6	0,0700	9,24
ТП-РП3.2	0,15	1,250	120	0,0700	10,5
ТП-РП4.1	0,108	1,250	135	0,0700	7,56
ТП-РП4.2	0,144	1,250	180	0,0700	10,08
ТП-РП5.1	0,138	0,800	110,4	0,0700	9,66
ТП-РП5.2	0,144	0,800	115,2	0,0700	10,08
ТП-РП6.1	0,09	1,250	112,5	0,0700	6,3
ТП-РП6.2	0,144	1,250	180	0,0700	10,08
ТП-РП7.1	0,102	1,250	127,5	0,0700	7,14

Результати розрахунку струмів зведемо в таблицю 2.22.

Таблиця 2.22 - Результати розрахунків

Точка КЗ	$R_{\text{дод}}, \text{мОм}$	$\dot{R}_{\text{рез}}, \text{мОм}$	$\dot{X}_{\text{рез}}, \text{мОм}$	$\dot{Z}_{\text{рез}}, \text{мОм}$	$I_{\text{к}}, \text{кА}$	$i_y, \text{кА}$	$F_{\text{min}}, \text{мм}^2$	Прийнятий переріз
1	2	3	4	5	6	7	8	9
K1	20	129,23	24,84	131,60	1,755	2,482	7,4	25
K2	20	138,83	25,68	141,19	1,636	2,313	6,9	25
K3	20	151,13	22,74	152,83	1,511	2,137	6,4	16
K4	20	196,13	25,26	197,75	1,168	1,652	4,9	16
K5	20	129,23	24,84	131,60	1,755	2,482	7,4	25
K6	20	143,63	26,10	145,98	1,582	2,237	6,7	25
K7	20	158,63	23,16	160,31	1,441	2,037	6,1	16
K8	20	203,63	25,68	205,24	1,125	1,591	4,8	16
K9	20	134,03	25,26	136,39	1,693	2,395	7,2	25
K10	20	138,83	25,68	141,19	1,636	2,313	6,9	25

					ЛНТУ.971048.000 ПЗ				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					30

Продовження таблиці 2.22

1	2	3	4	5	6	7	8	9
K11	20	136,13	21,90	137,88	1,675	2,369	7,1	16
K12	20	203,63	25,68	205,24	1,125	1,591	4,8	16
K13	20	151,13	22,74	152,83	1,511	2,137	6,4	16

2.12.3. Вибір трансформаторів струму

Для розрахункового обліку встановлюємо лічильники SL761X081 (Itron / Actaris). Для технічного обліку, встановлюємо амперметри DE-72 (Dixsen). Для розрахункового та технічного обліку трансформатори струму ВН-0.66 (CHINT) 1500/5 та Трансформатор (CTR) (ETI) 150/5

Результати перевірки зведемо в таблицю 2.23. та 2.24 т

Таблиця 2.23 - Результати розрахунків

Показник	Значення
$U_{уст}, \text{кВ}$	0,4
$I_{норм}, \text{А}$	645,42
$I_{max}, \text{А}$	1290,83
$i_y, \text{кА}$	14,113
$I_{п0}, \text{кА}$	9,504
$B_K, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	22,58
$z_2, \text{Ом}$	0,255
$U_{уст}, \text{кВ}$	0,4
$I_{max}, \text{А}$	147,88
$i_y, \text{кА}$	2,482
$B_K, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	0,77
$z_2, \text{Ом}$	0,115

2.12.4 Вибір автоматичних вимикачів

Результати вибору та перевірки зведемо в таблицю 2.25

Таблиця 2.25 - Результати розрахунків

Назва	Тип вимикача	$I_{номрозщ}, A$	$I_{грвимк}, kA$	$I_{ном}, A$	I_{max}, A	I_K, A
QF1	h1600	1600	50	645,42	1290,83	9,504
QF2	h1600	1600	50	645,42	1290,83	9,504
QF3	h1600	1600	50	645,42	1290,83	9,504
QF4	x160	160	36	70,92	141,84	1,755
QF5	x160	160	36	70,92	141,84	1,755
QF6	x160	125	36	62,11	124,21	1,636
QF7	x160	125	36	62,11	124,21	1,636
QF8	x160	125	36	53,81	107,62	1,511
QF9	x160	125	36	53,81	107,62	1,511
QF10	x160	125	36	52,54	105,08	1,168
QF11	x160	125	36	52,54	105,08	1,168
QF12	x160	160	36	66,91	133,82	1,755
QF13	x160	160	36	66,91	133,82	1,755
QF14	x160	160	36	73,94	147,88	1,582
QF15	x160	160	36	73,94	147,88	1,582
QF16	x160	125	36	53,26	106,52	1,441
QF17	x160	125	36	53,26	106,52	1,441
QF18	x160	125	36	54,98	109,97	1,125
QF19	x160	125	36	54,98	109,97	1,125
QF20	x160	160	36	73,50	147,00	1,693
QF21	x160	160	36	73,50	147,00	1,693
QF22	x160	160	36	65,76	131,52	1,636
QF23	x160	160	36	65,76	131,52	1,636
QF24	x160	125	36	51,16	102,31	1,675
QF25	x160	125	36	51,16	102,31	1,675
QF26	x160	125	36	50,80	101,59	1,125
QF27	x160	125	36	50,80	101,59	1,125
QF28	x160	100	36	47,09	94,18	1,511
QF29	x160	100	36	47,09	94,18	1,511

2.12.5 Вибір рубильників

Результати вибору та перевірки є. PE19.41 31140 зведемо в таблицю 2.26.

Таблиця 2.26 - Результати розрахунків

Показник	Значення
$U_{уст}, \text{кВ}$	0,4
$I_{норм}, \text{А}$	645,42
$I_{max}, \text{А}$	1290,83
$i_y, \text{кА}$	14,113
$I_{n0}, \text{кА}$	9,504
$B_K, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	22,58

2.13 Проектування освітлювальної мережі

Вибір освітлювального обладнання та мережі проведемо методом додатку А. В таблицю 2.27 запишемо результати:

Таблиця 2.27 - Результати розрахунків

Параметри	Значення
1	2
a, м	32
b, м	48
s, м ²	1536
H_p м.	4
hc м.	2
L_p м.	0,4
H_{pm} м.	1
$n_{св}$, шт	10
n_p , рядів	7
l_a , м	2,0625
l_b , м	9,375
i	5,91
$N_{св}$, шт	70
$\Phi_{розр}$, Лм	15179
$\Phi_{ламп}$, Лм	13200
$\Delta\Phi$ %	14,99

Продовження таблиці 2.27

1	2
$P_{0кВт}$	2,56
$P_{р.0кВт}$	2,432
Світильники	ДСП56У2ЕХ-100-342 У2
щит	ШМР-А-12-Н (Лоза)
АВ	$I_{ном} = 16 \text{ А};$
ввідний АВ	$I_{ном} = 63 \text{ А}.$
Кабель до світильників	3х2,5 $I_{тр.доп} = 25 \text{ А}$
Кабель до щита	-3х10

РОЗДІЛ 3

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ ВАЖКОГО ГУМОЗМІШУВАЧА

3.1. Теоретичний аналіз електромеханічних властивостей приводу гумозмішувачів роторного типу. Згідно з розрахунками електричних навантажень підприємства, для приводу гумозмішувача РС-250М використовується низьковольтний асинхронний електродвигун із короткозамкненим ротором номінальною потужністю 22 кВт та напругою живлення 0,4 кВ.

Головною проблемою таких машин є важкі пускові режими. Оскільки під час захоплення сировини роторами виникає значний момент опору, прямий пуск асинхронного двигуна під навантаженням викликає значні пускові струми (у 6-7 разів вищі за номінальні) та просадки напруги в цеховій мережі.

3.2. Математичний опис моментів інерції масивних роторів

Механічна частина приводу — це багатомасова торсійна система, що складається з ротора двигуна, муфти, понижувального редуктора та змішувальних роторів. Розрахунки у середовищі MATLAB базуються на інтегруванні диференціального рівняння:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J_{\Sigma}} (M_e - M_c) \quad (3.1)$$

де ω — кутова швидкість обертання ротора; J_{Σ} — сумарний зведений момент інерції приводу та механізму; M_e — електромагнітний момент двигуна; M_c — статичний момент опору гумозмішувача.

Електромагнітний момент асинхронного двигуна M_e у квазісталеному режимі моделюється за уточненою формулою Клосса:

					ЛНТУ.971048.000 ПЗ		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування системи електропостачання заводу гумотехнічних виробів встановленою потужністю 1150 кВт. Пояснювальна записка		
Розробив	Марценюк С.А.						
Перевірів	Собчук Д.С.						
Реценз.							
Н.контр	Ващелюк Ю.І.						
Затвердив	Волинець В.І.				ФАБЕ, зр ЕЕ-42		
					Літ.	Арк.	Аркушів
					Д	35	4

$$M_e = \frac{2M_k(1+a \cdot s_k)}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} + 2a \cdot s_k} \quad (3.2)$$

де s — поточне ковзання; s_k — критичне ковзання; M_k — критичний (максимальний) момент; a — коефіцієнт, що враховує активний опір статора.

Профілювальні ротори гумозмішувача мають складну геометрію, і їхній власний момент інерції відносно осі обертання є гігантським. Для аналізу перехідних процесів усі моменти інерції необхідно привести до осі вала електродвигуна. Зведений сумарний момент інерції системи дорівнює сумі власних моментів інерції ротора двигуна та швидкохідної муфти плюс сума моментів інерції редуктора, тихохідної муфти та роторів змішувача, яка попередньо ділиться на квадрат передавального відношення редуктора.

Згідно з основним рівнянням динаміки обертального руху, кутове прискорення є результатом ділення різниці електромагнітного моменту двигуна та технологічного моменту опору на цей зведений момент інерції. Висока інерційність розтягує час розгону, збільшуючи теплове навантаження на мережу.

3.3. Побудова тахограми нелінійного технологічного навантаження

Найважчим режимом для приводу є початкова стадія мастикації холодного каучуку. Одразу після опускання прес-циліндра матеріал перебуває у вискоеластичному стані з надвисокою початковою в'язкістю. Згідно зі степеневим законом Оствальда-де Віля, напруження зсуву визначається як добуток індексу консистенції матеріалу на швидкість зсуву, піднесену до ступеня індексу течії.

У перші секунди мастикації виникає різкий пік енергоспоживання, який вимагає від приводу значного перевантаження. З часом механічна енергія перетворюється на тепло, температура суміші зростає, а полімерні ланцюги розриваються. Це викликає експоненціальне падіння в'язкості матеріалу і зниження моменту опору на валу. Отже, математична модель моменту опору має вигляд різкого стрибка до максимуму з подальшим нелінійним спадом до стабілізованого значення на етапі диспергування.

					ЛНТУ.971048.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Для моделювання у MATLAB функція моменту опору $M_c(t)$ була задана у вигляді нелінійного блоку, де початковий момент опору при пуску становить 1,5 від номінального ($M_{c_start} = 1,5M_{nom}$), після чого протягом 12 с спадає до стабілізованого значення $0,8 M_{nom}$ внаслідок розігріву суміші.

3.4. Комп'ютерна модель у середовищі Simulink (Simscape Electrical)

Для віртуального дослідження розроблено комплексну модель у MATLAB/Simulink (бібліотека Simscape Electrical). Модель містить трифазне джерело живлення, цеховий знижувальний трансформатор, кабельну лінію та блок явнopolюсної синхронної машини.

Для розрахунку перехідних процесів у MATLAB/Simulink створено імітаційну модель. До складу моделі входять:

- Блок трифазного джерела живлення (Three-Phase Source) напругою **400 В**.
- Блок асинхронної машини (Asynchronous Machine SI Units) із заданими параметрами: $P_{nom} = 22$ кВт, $U_{nom} = 400$ В, $f = 50$ Гц, $n_{nom} = 1460$ об/хв.
- Блок механічного навантаження (Subsystem), що генерує сигнал змінного моменту опору.
- Блоки вимірювання (Scope, RMS, To Workspace) для фіксації струмів статора, швидкості та електромагнітного моменту.

3.5. Розрахунки та результати моделювання прямого пуску

Базові розрахункові параметри двигуна, отримані в MATLAB перед моделюванням динаміки:

- Номінальний струм статора: $I_{nom} \approx 42,5$ А.
- Номінальна кутова швидкість: $\omega_{nom} = \frac{\pi \cdot 1460}{30} \approx 152,9$ рад/с.
- Номінальний момент:

$$M_{nom} = \frac{P_{nom}}{\omega_{nom}} = \frac{22000}{152,9} \approx 143,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

У ході симуляції прямого пуску при заповненій камері гумозмішувача (час симуляції **15 с**, крок інтегрування $T_s = 5 \cdot 10^{-5}$ с) отримано такі результати:

					ЛНТУ.971048.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

1. **Пусковий струм:** У момент подачі напруги (при $s = 1$) амплітуда пускового струму досягла $I_{start} = 285$ А (що становить **6,7** I_{nom}).
2. **Час розгону:** Через високий момент інерції роторів ($J_{\Sigma} = 4,2$ кг·м²) та високий зустрічний момент опору суміші, час виходу на номінальну швидкість склав $t_{start} = 4,8$ с.
3. **Просадка напруги:** Динамічний розрахунок показав зниження напруги на шинах 0,4 кВ на **8,4%** протягом усього часу розгону, що негативно впливає на роботу чутливої електроніки вагових дозаторів (АВД-20).

3.6. Інтеграція моделі пристрою плавного пуску (Soft Starter)

Для оптимізації режиму в модель MATLAB додано блок тиристорного перетворювача напруги. Алгоритм керування реалізовано через зміну кута відкриття тиристорів α за експоненціальним законом.

Діюче значення напруги на статорі U_s , що формується пристроєм плавного пуску, описується залежністю:

$$U_s(\alpha) = U_m \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin(2\alpha) \right)} \quad (3.3)$$

Повторне моделювання з пристроєм плавного пуску (обмеження струму на рівні $3,5 I_{nom}$) показало:

Максимальний пусковий струм знизився до 148 А.

Знакозмінні ударні моменти в механічній передачі були повністю усунені (амплітуда коливань моменту M_e зменшилася на 65%).

Просадка напруги в цеховій мережі 0,4 кВ не перевищила 3,2%, що повністю відповідає вимогам ДСТУ EN 50160.

Час розгону збільшився до $t_{start} = 8,5$ с, що є допустимим для технологічного процесу мастикації.

Комп'ютерне моделювання у MATLAB підтвердило неможливість безпечної експлуатації асинхронного приводу гумозмішувача РС-250М потужністю 22 кВт в режимі прямого пуску під навантаженням. Застосування пристрою плавного пуску є обов'язковим технічним рішенням для даного вузла.

					ЛНТУ.971048.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

РОЗДІЛ 4

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ (САПР)

. У процесі виконання даного дипломного проєкту для забезпечення високої точності інженерних розрахунків та належної якості графічного матеріалу було застосовано комплекс сучасного спеціалізованого та офісного програмного забезпечення. Для розробки графічної частини проєкту безпосередньо використовувалося середовище автоматизованого проєктування AutoCAD, розширений функціонал якого дозволив створити максимально точні та детальні плани розташування технологічного електрообладнання, а також виконати трасування магістральних шинопроводів і радіальних кабельних ліній на складній архітектурно-будівельній підоснові цеху. Використання стандартизованих бібліотек умовних графічних позначень та системи динамічних шарів дало змогу побудувати наочні принципові однолінійні схеми живлення та розподільчих пристроїв високої та низької напруги. Аналітична та розрахункова частина проєкту, що включає визначення очікуваних електричних навантажень методом впорядкованих діаграм, обчислення струмів трифазного та однофазного короткого замикання, перевірку спроектованих мереж на допустиму втрату напруги та вибір оптимальних перерізів кабельно-провідникової продукції, була повністю автоматизована за допомогою табличного процесора MS Excel. Використання вбудованих складних математичних і логічних функцій та перехресних динамічних посилань дозволило створити гнучку розрахункову модель, яка миттєво та безпомилково перераховує кінцеві результати при будь-якій зміні вихідних параметрів електродвигунів або конфігурації ліній. Текстова пояснювальна записка була скомпільована, логічно структурована та оформлена суворо відповідно до чинних вимог єдиної системи конструкторської документації за допомогою текстового редактора MS Word, який забезпечив зручну та безшовну інтеграцію масивних розрахункових таблиць, математичних формул та фрагментів креслень у єдиний цілісний фінальний документ.

					<i>ЛНТУ.971048.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>	<i>Марценюк С.А.</i>				<i>Проектвання системи електропостачання заводу зумотехнічних виробів встановленою потужністю 1150 кВт. Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>	<i>Собчук Д.С.</i>					<i>Д</i>	39	2
<i>Реценз.</i>						<i>ФАБЕ, зр ЕЕ-42</i>		
<i>Н.контр</i>	<i>Вашелюк Ю.І.</i>							
<i>Затвердив</i>	<i>Волинець В.І.</i>							

.. Рисунок 4.1 - Розрахунок заземлення в MS Excel

РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Проведемо розрахунки заземлення цеху за А.14:

Таблиця 5.1- Розрахунковий коефіцієнт опору ґрунту:

Позначення	од. вим.	Значення
r_1	-	71,6
r_2	-	80,1
k_1	-	1,52
L	м	4,5
H	м	0,77
$t_{п}$	м	0,44
r	Ом*м	28,6
b	мм	12
t	м	1,95
r_b	Ом	7,4
R_H	Ом	4
h_b	-	0,75
$n_{пр}$	шт	2,47 ≈ 3
h	м	3,2
l_r	мм	6,40
b	мм	40
k_2	-	1,7
h_r	-	0,7
r_2	Ом	33,48
R	Ом	4,37
n	шт	2,26

Обрано 3 електроди довжиною 4,5 м .

					ЛНТУ.971048.000 ПЗ				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив	Марценюк С.А.				Проектування системи електропостачання заводу зумотехнічних виробів встановленою потужністю 1150 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевірів	Собчук Д.С.					Д	41	1	
Реценз.						ФАБЕ, гр ЕЕ-42			
Н.контр	Ващелюк Ю.І.								
Затвердив	Волинець В.І.								

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У результаті виконання даного дипломного проєкту було розроблено надійну, безпечну, гнучку та економічно доцільну систему внутрішньозаводського електропостачання цеху приготування та вальцювання гумових сумішей заводу гумотехнічних виробів. На основі глибокого аналізу оновленого технологічного процесу, що включає використання важких високонавантажених механізмів, таких як скипові підйомники та габаритні фестонні установки охолодження, було складено точну зведену відомість електричних навантажень. Це дозволило з високою інженерною достовірністю визначити розрахункову активну, реактивну та повну потужність підрозділу з урахуванням специфічних коефіцієнтів використання та попиту для кожної групи електроприймачів. За результатами цих комплексних розрахунків було обрано оптимальну кількість та номінальну потужність силових трансформаторів для цехової двотрансформаторної підстанції, які гарантовано забезпечують надійне живлення відповідальних споживачів другої категорії за умови припустимого перевантаження в гіпотетичному післяаварійному режимі роботи. Виконаний розгорнутий розрахунок струмів короткого замикання у мінімальному та максимальному режимах роботи енергосистеми дозволив здійснити обов'язкову перевірку обраних кабельних ліній на термічну стійкість до струмів КЗ, а також здійснити вибір сучасної комутаційної та захисної апаратури. Вибрані автоматичні вимикачі володіють відповідною граничною здатністю до відключення ударних аварійних струмів, що у поєднанні з правильно підібраними уставками спрацювання гарантує абсолютну селективність дії релейного захисту.

Спроектована внутрішньоцехова розподільча мережа повністю відповідає жорстким вимогам електробезпеки та пожежної безпеки для приміщень із високим вмістом струмопровідного пилу. Впровадження запропонованих проєктних рішень гарантує безперебійне функціонування критично важливого енергоємного змішувального обладнання, підтримує стабільність технологічного циклу і створює максимально безпечні умови праці для експлуатаційного персоналу підприємства.

					ЛНТУ.971048.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Шестеренко В. Є., Шестеренко О. В. Електропостачання промислових підприємств : посіб. до курсового та дипломного проєктування. Київ, 2013. 424 с.
2. Ковальчук Н. В., Фесіна Ю. Г., Заблоцька І. Л. Кваліфікаційна робота : метод. вказівки до оформлення кваліфікаційних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти всіх освітніх програм денної та заочної форм навчання. Луцьк : ЛНТУ, 2023. 46 с.
3. Грицюк І. В., Грицюк Ю. В. Оформлення графічної частини : метод. вказівки до оформлення курсових і дипломних проєктів (робіт) для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Луцьк : ЛНТУ, 2026 . 92 с.
4. ДСТУ ISO 128-22:2005. Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. [Чинний від 2005-01-01]. Київ : Технічний центр НАН України, 2005.
5. ДБН В.2.5-28:2018. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний від 2019-03-01]. Київ : Мінрегіон України, 2018. 137 с.
6. Правила улаштування електроустановок / М-во енергетики та вугільної промисловості України. Київ, 2017. 617 с.
7. Про затвердження Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів : наказ М-ва палива та енергетики України від 25.07.2006 р. № 258. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06> (дата звернення: 24.05.2026).
8. Рябенко І. С., Шевчук С. П., Мейта О. В. Електрообладнання та електропостачання машин і установок геотехнічних виробництв : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 633 с.
9. Рудницький В. Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проєктування : навч. посіб. Суми : Університетська книга, 2007. 280 с.
10. Панченко С. В., Акімов О. І., Бабаєв М. М. та ін. Електробезпека : підручник. Харків : УкрДУЗТ, 2018. 295 с.

					ЛНТУ.971048.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43