

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАВОДУ
ЛЕГКИХ БУДІВЕЛЬНИХ
КОНСТРУКЦІЙ ВСТАНОВЛЕНОЮ
ПОТУЖНІСТЮ 880 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 ЕЕЗ-41
Жук Андрій Сергійович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Бандура Ірина Олександрівна

(підпис)

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

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Жук А.С. Електропостачання заводу легких будівельних конструкцій встановленою потужністю 880 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.

У проєкті розроблено (запропоновано) систему електропостачання виробництва. Проектування виконане на основі електротехнічних розрахунків: розрахунку силових електричних навантажень з використанням методу впорядкованих діаграм на основі ієрархічного підходу; розрахунку освітлювальних навантажень на основі методу питомої густини освітлювального навантаження; розрахунку техніко-економічних показників прийнятих проєктних рішень на основі методу приведених затрат.

У результаті роботи отримали систему електропостачання даного підприємства з високими показниками економічної обґрунтованості.

Прийняті проєктні рішення дозволяють перейти до їх практичної реалізації й впровадження спроектованої системи електропостачання.

Ключові слова: система електропостачання (СЕП), лінія електропередач, електроприймачі, електричні навантаження, струми короткого замикання, компенсація реактивної потужності, електрична апаратура, електробезпека.

ANNOTATION

Zhuk A.S. Power supply of a light building structures plant with an installed capacity of 880 kW Manuscript.

Qualification project of the bachelor of the specialty "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics" of the specialty 141 Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

The bachelor qualification project consists of five sections, a list of sources used, and appendices.

The project developed (proposed) _power supply system of the enterprise. The design is performed on the basis of electrical calculations: calculation of power electrical loads using the method of ordered diagrams based on a hierarchical approach; calculation of lighting loads based on the method of specific density of lighting load; calculation of technical and economic indicators of design decisions based on the method of reduced costs.

As a result, the power supply system of this enterprise with high indicators of economic feasibility was obtained.

The adopted design decisions allow to pass to their practical realization and introduction of the designed system of power supply.

Keywords: power supply system (EPS), power line, power receivers, electrical loads, short-circuit currents, reactive power compensation, electrical equipment, electrical safety.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ	8
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ.....	10
2.1. Розрахунок силових електричних навантажень.....	10
2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень.....	12
2.3. Визначення результуючих навантажень.....	14
2.4. Побудова картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень.....	15
2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів ТП з врахуванням компенсації реактивної потужності.....	16
2.6. Компенсація реактивної потужності.....	18
2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях.....	19
2.8. Проектування мережі живлення підприємства.....	19
2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі.....	21
2.10. Розрахунок струмів короткого замикання.....	23
2.11. Вибір обладнання.....	27
2.11.1. Вибір комплектних розподільчих пристроїв.....	27
2.11.2. Вибір роз'єднувачів.....	28
2.11.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників.....	29
2.12. Розрахунок силової мережі цеху.....	30
2.12.1. Вибір схеми електропостачання.....	30
2.12.2. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ.....	31
2.12.3. Вибір трансформаторів струму.....	37

					ЛНТУ.971092.000 ПЗ		
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Жук А.С.				Електропостачання заводу легких будівельних конструкцій встановленою потужністю 880 кВт Пояснювальна записка	Літ.	Арк.
Перевір.	Бандура І.О.						4
						Акрушів	
						116	
Н. контр.	Ващелок Ю.І.					ФАБЕ, гр.ЕЕз-41	
Затверд.	Волинець В.І.						

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів.....	40
2.12.5. Вибір рубильників.....	40
РОЗДІЛ 3 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ.....	41
РОЗДІЛ 4 СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ.....	45
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	46
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	48
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	49
ДОДАТОК 1 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ.....	52
ДОДАТОК 2 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ	100
ДОДАТОК 3 СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ..	108
ДОДАТОК 4 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА.....	109

ВСТУП

З точки зору техніко-економічних міркувань всі електростанції, розміщені в окремому економічному районі, за посередництвом ліній електропередачі різних рівнів напруги з'єднуються між собою для паралельної роботи на спільне навантаження. Таке об'єднання електростанцій, підстанцій та теплових мереж, пов'язаних спільністю режиму та неперервністю процесу виробництва та розподілу електричної та теплової енергії, називається енергетичною системою. В свою чергу частину енергетичної системи, що складається з генераторів, розподільчих пристроїв, підстанцій, ліній електропередачі різних рівнів напруги та електроприймачів вважають системою електропостачання.

При проектуванні раціональної системи електропостачання повинні забезпечуватись:

безперебійність електропостачання, що залежить від схеми та надійності пристроїв електричних мереж;

якість електроенергії, яка характеризується належним рівнем напруги в споживачів;

зручність та безпеку експлуатації;

економічність;

можливість подальшого розвитку без капітальної перебудови електричних мереж.

В даному проєкті розробляється система електропостачання заводу легких будівельних конструкцій встановленою потужністю 880 кВт.

Для забезпечення усіх вище перелічених вимог даний проєкт буде включати техніко-економічні розрахунки, які забезпечать підбір найбільш економічної мережі електропостачання.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛНТУ.971092.000 ПЗ

Арк.

7

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

В даному кваліфікаційному проєкті бакалавра розробляється система електропостачання заводу легких будівельних конструкцій встановленою потужністю 880 кВт.

Електропостачання підприємства здійснюється від шин напругою 10 кВ існуючої РПС 110/10 кВ, відстань до якої становить 2,05 км. Потужність короткого замикання на шинах джерела живлення дорівнює 70 МВА.

Режим роботи підприємства – двозмінний. Річна кількість годин роботи електрообладнання становить 4000 годин; число годин роботи обладнання при максимальному навантаження – 2400 годин.

Встановлена потужність окремих будівель та підрозділів підприємства наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Встановлена потужність підрозділів підприємства

Назва підрозділу (цеху, будівлі)	Встановлена потужність Рв, кВт
Цех легких бетонів	154,6
Цех легких сталевих конструкцій	134
Цех керамзитових панелей	195
Сушильне виробництво	184,4
Складські приміщення	65
Насосна станція	98
Адмінкорпус	49
Всього	880

					ЛНТУ.971092.000 ПЗ			
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання заводу легких будівельних конструкцій встановленою потужністю 880 кВт Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Жук А.С.						
Перевір.		Бандура І.О.					8	2
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.				ФАБЕ, гр.ЕЕЗ-41		
Затверд.		Волинець В.І.						

Реактивна потужність, дозволена до передачі енергосистемою становить 120 кВАр.

Приймачі електроенергії підприємства розраховані на живлячу напругу 380/220 В.

Приймачами електричної енергії на даному підприємстві є бароустановки, піногенератори, дозатори, змішувачі, верстати струнної порізки, вентилятори, освітлювальні установки та ін.

За ступенем надійності електропостачання споживачі підприємства відносяться до наступних категорій: II – 35 %, III – 65 %

Загальна територія підприємства становить 1323000 м², площа будівель складає 6855 м².

					ЛНТУ.971092.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ

2.1. Визначення силових електричних навантажень

За значеннями електричних навантажень вибирають і перевіряють електрообладнання СЕП, визначають втрати потужності і електричної енергії. Від оцінки очікуваних навантажень залежать капітальні затрати на СЕП, експлуатаційні витрати, надійність роботи електрообладнання.

При визначення електричних навантажень діючих або проєктованих підприємств необхідно враховувати режим роботи, потужність, напругу, рід струму та надійність живлення електроприймачів.

Вірне визначення електричних навантажень є основою раціональної побудови і експлуатації системи електропостачання промислового підприємства. За значенням електричних навантажень вибирають і перевіряють електрообладнання СЕП, визначають втрати потужності і електричної енергії. Від оцінки очікуваних навантажень залежать капітальні затрати на СЕП, експлуатаційні витрати, надійність роботи електрообладнання.

Для розрахунку силового електричного навантаження застосуємо метод впорядкованих діаграм (методика розрахунку наведена в [3, § 2], прийнятий для масових електроприймачів.

Згідно цього методу розраховане активне навантаження приймачів електроенергії на всіх ступенях живлячих і розподільчих мереж визначають за середньою потужністю та коефіцієнтом максимуму.

Коефіцієнт максимуму, в свою чергу, залежить від ефективного числа електроприймачів.

					ЛНТУ.971092.000 ПЗ			
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання заводу легких будівельних конструкцій встановленою потужністю 880 кВт Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.	Жук А.С.						10	
Перевір.	Бандура І.О.							
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр.ЕЕЗ-41		
Затверд.	Волинець В.І.							

Під ефективним (приведеним) числом приймачів групи, різних за номінальною потужністю і режимом роботи, розуміють таке число

однорідних за режимом роботи приймачів однакової потужності, яке обумовлює те саме розрахункове навантаження, що й дана група різних приймачів.

Порядок розрахунку силового навантаження згідно методики у додатку 2.1. Проведемо розрахунок електричних навантажень силових приймачів електроенергії на прикладі цеху легких бетонів. Результати розрахунків зведемо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунок силового навантаження цеху легких бетонів

Назва групи приймачів електричної енергії	Встановлена потужність, кВт		n	K _{вик}	m	tgφ	Середнє навантаження за найбільш завантажену зміну		n _{еф}	K _{max}	Розрахункове навантаження	
	$\frac{P_{max}}{P_{min}}$	P _н					P _{ср зм, кВт}	Q _{ср зм, кВАр}			P _{р, кВт}	Q _{р, кВАр}
Бароустановка	3,5	14	4	0,25	1	1,02	3,50	3,57	4	3,45	12,08	3,93
Піногенератор	4,8	19,2	4	0,4	1	0,88	7,68	6,76	4	3,12	23,96	7,43
Дозатор	5,5	22	4	0,32	1	1,02	7,04	7,18	4	3,8	26,75	7,90
Змішувач	6,5	26	4	0,36	1	1,33	9,36	12,45	4	3,96	37,07	13,69
Верстат струнної порізки	4,6	18,4	4	0,15	1	1,33	2,76	3,67	4	2,84	7,84	4,04
Всього із змі-нним графіком навантаження		99,6	20				30,34	33,63			107,69	36,99
Насос	4	20	5	0,75		0,7	15	10,50			15,00	10,50
Вентилятор	3,5	35	10	0,8		0,7	28	19,60			28,00	19,60
Всього з постійним графіком навантаження		55	15				43	30,10			43,00	30,10
Всього по цеху		154,	35				73,34	63,73			150,69	67,09

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

Таблиця 2.2 – Розрахунок силового навантаження по підприємству в цілому

Назва підрозділу (цеху)	Встановлена потужність P_H , кВт	Середнє навантаження за найбільш завантажену зміну	
		$P_{CP.3M.}$, кВт	$Q_{CP.3M.}$, кВАр
Цех легких бетонів	154,6	73,3	63,73
Цех легких сталевих конструкцій	134	54	71,3
Цех керамзитових панелей	195	74	96,3
Сушильне виробництво	184,4	75,6	77,87
Складські приміщення	65	19,50	14,63
Насосна станція	98	63,70	47,78
Адмінкорпус	49	12,3	12,62
Всього	880	372,09	384,24

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

На промислових підприємствах близько десятої частини споживаної електроенергії витрачається на електричне освітлення. Правильний вибір освітлювальних установок сприяє раціональному використанню електроенергії, покращенню якості продукції, що випускається, підвищенню продуктивності праці, зменшенню кількості аварій і випадків травматизму, зниженню втомлюваності працівників. Вибір освітлення у приміщеннях виконано у відповідності з нормами проектування штучного освітлення ДБН

В.2.-28:2018, а вибір освітлювальної апаратури – з врахуванням призначення, класу та середовища приміщення. В якості джерела освітлення для основних виробничих приміщень використовують світлодіодні світильники марки ДПП24У з LED джерелами потужністю 200 Вт, а для допоміжних виробничих приміщень – світильники з люмінісцентними лампами та газорозрядними лампами.

В залежності від характеру технологічних процесів застосовуються системи загального і комбінованого освітлення. Для більшості приміщень прийняте робоче та евакуаційне освітлення.

Живлення освітлювальних навантажень передбачено від окремих освітлювальних щитків типу ОЩ-6УХЛ4 з автоматами типу ВА-88. Живлення робочого та евакуаційного освітлення здійснюється окремими фідерами. Живлення виконане проводом ПВС 4*2,5мм².

З метою встановлення контролю енерговикористання на підприємстві у відповідності з ДБН В.2.-28:2018 вибрано величину максимально допустимої питомої встановленої потужності $R_{\text{пит}}$. Для розрахунку електричних навантажень освітлювальних приймачів застосовуємо метод питомої потужності. Параметрами, що визначають величину питомої потужності є: освітленість, площа освітлюваного приміщення та висота підвісу світильників над рівнем розрахункової площини.

Порядок розрахунку освітлювальних навантажень здійснимо згідно методики, наведеної в [4; 25, п.6-10], яка представлена в додатку 2.2

Результати розрахунку освітлювального навантаження по підприємству в цілому зведемо в таблицю 2.3.

					ЛНТУ.971092.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Таблиця 2.3 – Розрахунок освітлювального навантаження підприємства

Назва підрозділу (цеху)	$E_{\text{норм, лк}}$	$F, \text{м}^2$	$h, \text{м}$	$P_{\text{пит, Вт/м}^2}$	$P_o, \text{кВт}$	Тип лампи	$K_{\text{пра}}$	N_c в шт	$K_{\text{поп}}$	$\text{tg}\varphi$	$P_{p.o., \text{кВт}}$	$Q_{p.o., \text{кВАр}}$
Цех легких бетонів	200	1344	11	10,9	14,65	LED	1,1	73	0,85	0,62	13,70	8,49
Цех легких сталевиx конструкцій	200	1596	9	13,4	21,39	LED	1,1	107	0,85	0,62	20,00	12,40
Цех керамзитових панелей	200	1665	14	9,6	15,98	LED	1,1	80	0,85	0,62	14,95	9,27
Сушильне виробництво	200	600	9	13,4	8,04	LED	1,1	40	0,85	0,62	7,52	4,66
Складські приміщення	150	750	9	13,4	10,05	LED	1,1	50	0,85	0,62	9,40	5,83
Насосна станція	100	132	10	10,5	1,39	LED	1,1	7	0,85	0,62	1,30	0,80
Адмінкорпус	500	768	3	15,1	11,60	LED	1,1	193	0,8	0,4	10,21	4,08
Зовнішнє освітлення		1323000		0,02	20,24	ДНаТ	1,2	132	0,85	0,33	26,99	8,91
Всього		6855			109,55						104,04	54,43

2.3. Визначення результуючих навантажень

Для вибору комутаційно-захисної та вимірювальної апаратури на стороні НН трансформаторної підстанції, а також для визначення навантажень на вищих рівнях СЕП необхідно розрахувати навантаження на шинах 0,4 кВ ТП. Методика визначення результуючих навантажень наведена у додатку 2.3.

Результати розрахунків зведемо в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Розрахунок сумарного навантаження на шинах НН ТП

Назва цеху (дільниці)	$P_{\text{ср.зм.}, \text{кВт}}$	$Q_{\text{ср.зм.}, \text{кВАр}}$	$P_{p.o., \text{кВт}}$	$Q_{p.o., \text{кВАр}}$	$P_{\text{р.с.}, \text{кВт}}$	$Q_{\text{р.с.}, \text{кВАр}}$	$S_{\text{р.с.}, \text{кВА}}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Цех легких бетонів	73,34	63,73	13,70	8,49	87,04	72,22	113,10
Цех легких сталевиx конструкцій	53,6	71,29	20,00	12,40	73,60	83,69	111,44
Цех керамзитових панелей	74	96,33	14,95	9,27	89,05	105,60	138,13
Сушильне виробництво	75,604	77,87	7,52	4,66	83,12	82,53	117,14
Складські приміщення	19,5	14,63	9,40	5,83	28,90	20,45	35,40
Насосна станція	63,7	47,78	1,30	0,80	65,00	48,58	81,14

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8
Адмінкорпус	12,25	12,62	10,21	4,08	22,46	16,70	27,98
Зовнішнє освітлення	0	0	26,99	8,91	26,99	8,91	28,42
Всього	372,094	384,24	104,04	54,43	476,14	438,67	652,76

2.4. Побудова картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень

З метою визначення місця розташування трансформаторної підстанції при проектуванні будують картограму електричних навантажень. Картограма являє собою розміщені на генеральному плані підприємства кола, площа яких відповідає у вибраному масштабі розрахунковим навантаженням. Методика розрахунку наведена у додатку 2.4. Результати розрахунків подано в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Визначення теоретичного центру навантажень

<i>Назва цеху (дільниці)</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>P_{РΣ}·x</i>	<i>P_{РΣ}·y</i>	<i>r</i>	<i>a</i>
Цех легких бетонів	4,4	12,7	378,6	1105,4	7,4	67,2
Цех легких сталевих конструкцій	4,4	8,3	320,1	610,8	6,8	134,3
Цех керамзитових панелей	12,9	11,1	1148,7	988,4	7,5	72,6
Сушильне виробництво	13,9	6,5	1155,4	540,3	7,3	35,8
Складські приміщення	2,3	2,8	65,0	80,9	4,3	173,5
Насосна станція	8,5	3,0	552,5	195,0	6,4	7,3
Адмінкорпус	13,8	1,9	309,9	42,7	3,8	299,9
Всього			3930,2	3563,5		

$$X_a=8,25 \quad Y_a=7.48$$

2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів

Вибір типу та кількості силових трансформаторів ТП повинен обумовлюватись величиною та характером електричних навантажень, розміщенням навантажень на генеральному плані підприємства, а також архітектурно-будівельними та експлуатаційними вимогами. Крім того, повинні враховуватись конфігурація виробничих приміщень, розміщення технологічного обладнання, умови оточуючого середовища, умови охолодження, вимоги пожежної та електричної безпеки і типи застосовуваного обладнання.

Методика наведена у додатку 2.5.

Результати розрахунків зведемо в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Вибір типу та кількості трансформаторів ТП з врахуванням НБК

Показник	Одиниці вимірювання	Варіант I	Варіант II
1	2	3	4
$P_{p\Sigma}$	кВт	476,14	476,14
$Q_{p\Sigma}$	кВАр	438,67	438,67
$S_{p\Sigma}$	кВА	647,41	647,41
F	м ²	6855	6855
σ	кВА/м ²	0,1	0,1
Тип трансформатора	—	ТМ-400	ТМ-630
N_{min}	шт.	1,69	1,07
M	шт.	0	0
N_{opt}	шт.	2	2
$Q_{max T}$	кВАр	427,66	888,46

1	2	3	4
$Q_{\text{НБК 1}}$	кВАр	11,01	-449,79
K_{p1}	—	12	12
K_{p2}	—	2	4
Γ	—	0,49	0,44
$Q_{\text{НБК 2}}$	кВАр	35,66	0,00
$Q_{\text{НБК}}$	кВАр	46,8	0,00
Тип НБК	—	2*25	0
ΔP_x	кВт	1,45	2,27
ΔP_k	кВт	5,5	7,6
τ_M	год	1225,3	1225,3
ΔW	тис.кВт · год.	20,23	30,08
C_e	тис.грн.	169,90	310,00
K	тис.грн.	257,56	291,42
$З$	тис.грн.	151,50	197,90

Перевіримо вибрані трансформатори на перевантажувальну здатність згідно виразу з врахуванням можливості відключення навантаження III категорії:

$$1,4 \cdot S_{\text{ТНОМ}} \geq \frac{2 \cdot S_{\text{РΣ}}}{N}; \quad (2.38)$$

Отже, приймаємо до встановлення трансформатори ТМ-400, для яких

$$1,4 \cdot 400 = 560 \text{ кВА} > \frac{2 \cdot 517,93}{2} = 517,93 \text{ кВА}$$

де 342,05 кВА-потужність, за умови відключення споживачів III категорії.

Умова виконується.

2.6. Компенсація реактивної потужності

Компенсація реактивної потужності або підвищення коефіцієнту потужності електроустановок промислових підприємств має важливе значення для енергосистеми в цілому та є частиною загальної проблеми підвищення коефіцієнту корисної дії роботи систем електропостачання. Питання про компенсацію реактивної потужності включає розрахунок і вибір компенсуючих пристроїв, їх регулювання та розташування на території підприємства. Передача значної кількості реактивної потужності з енергосистеми до споживачів нераціональна по ряду причин: виникають додаткові втрати активної потужності і енергії в усіх елементах СЕП, обумовлені завантаженням їх реактивною потужністю, і додаткові втрати напруги в живлячих мережах.

Методика розрахунку компенсації РП наведена у додатку 2.6.

Результати розрахунків зведемо в таблицю 2.7.

Таблиця 2.7 – Розрахунок компенсації реактивної потужності на стороні 10 кВ

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
$Q_{P\Sigma}$	кВАр	438,67
Q_{emax}	кВАр	120
$Q_{НБК \text{ ф}}$	кВАр	40
ΔQ_T	кВАр	36
K_{HC}	—	0,8
Q_{M1}	кВАр	350,94
Q_{K1}	кВАр	230,94
$Q_{HC \text{ T}}$	кВАр	434,67
$Q_{ВБК}$	кВАр	226,94

З розрахунків таблиці 2.7 видно, що компенсація на високій стороні має становити 226 кВАр. Найменша потужність ВБК становить 300 кВАр. Тому, компенсацію виконуємо на шинах 0,4 кВ ТП. Приймаємо до встановлення дві конденсаторних батареї типу УКРМ-0,4-150 УЗ загальною потужністю 300 кВАр.

2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях СЕП

Визначення електричних навантажень в СЕП підприємства виконують для характерних місць приєднання приймачів електроенергії.

Розрахункове навантаження, створюване групами приймачів електроенергії напругою 0,4 кВ, визначене в п.2.1.3 даного проекту.

Методика розрахунку електричних навантажень наведена у додатку 2.7.

$$S_{p4} = 397,66 \text{ кВА}$$

2.8. Проектування мережі живлення підприємства

Для забезпечення електроенергією проектового підприємства необхідно приєднати його до мереж енергосистеми з наступним розподілом електроенергії всередині підприємства між окремими об'єктами.

Основними умовами проектування раціональної системи зовнішнього електропостачання є:

- надійність;
- економічність;
- якість електроенергії в мережі.

					ЛНТУ.971092.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Надійність залежить від категорії приймачів електроенергії та особливостей технологічного процесу, неправильна оцінка яких може спричинити зниження надійності СЕП.

Економічність визначається приведеними затратами на СЕП.

Джерелом живлення підприємства є шини 10 кВ існуючої трансформаторної підстанції. Живлення підприємства доцільно виконати кабельними лініями напругою 10 кВ.

Переріз жил кабелів виберемо за технічними та економічними умовами.

До технічних умов відносяться вибір перерізів по нагріву розрахунковим струмом, нагріву від короткочасного виділення тепла струмом КЗ, втратам напруги в нормальному та після аварійному режимах.

Економічні умови вибору полягають у визначенні перерізу лінії, приведені затрати на спорудження якої будуть мінімальними.

Вибір перерізу по нагріву здійснимо за розрахунковим струмом I_p . Оскільки для живлення ТП підприємства ми встановлюємо дві паралельно працюючі лінії, то в якості розрахункового струму приймемо струм післяаварійного режиму, коли одна живляча лінія вийшла з ладу.

Методика розрахунку мережі живлення наведена у додатку 2.8.

Тому розрахунковий струм визначаємо з виразу:

$$I_{пав} = \frac{397,66}{\sqrt{3} \cdot 10} = 22,96 \text{ А}$$

Згідно [7, табл.87], попередньо виберемо кабель типу АПвЕгП-10.

Перевірку кабелів за нагріванням струмом короткого замикання проведемо нижче після визначення величин цих струмів.

$$I_{норм} = \frac{397,66}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 11,48 \text{ А}$$

					ЛНТУ.971092.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Результати розрахунків зведемо в таблицю 2.8.

Таблиця 2.8 – Вибір та перевірка живлячих ліній

F , мм ²	$I_{\text{доп}}$, А	$I'_{\text{доп}}$, А	r_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	x_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$U_{\text{норм}}$	$\Delta U_{\text{норм}}$, %	$\Delta U_{\text{П АВ}}$, %	$K_{\text{зл}}$	$\Delta P_{\text{н}}$, кВт	$\Delta P_{\text{д}}$, кВт	$R_{\text{д}}$	K , тис. грн.	$З$, тис. грн.
35	115	118,5	0,894	0,064	30,71	0,31	0,61	0,097	77,14	0,725	14,64	210	861,0
50	140	144,2	0,625	0,063	21,91	0,22	0,44	0,080	79,93	0,507	10,23	230	943,0
70	165	170,0	0,447	0,061	16,07	0,16	0,32	0,068	79,40	0,362	7,32	250	1025,

Остаточно приймаємо кабельну лінію, приведені затрати на спорудження якої мінімальні, тобто АПВБГП -10-3×35.

2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі

Живляча напруга приймачів електроенергії підприємства становить 0,38 кВ. Для живлення будівель підприємства застосовуємо радіально-магістральну схему живлення.

Вибір перерізів кабельних ліній здійснимо за економічною густиною струму за [7, табл.86].

Методика розрахунку мережі живлення наведена у додатку 2.9.

Результати розрахунків зведемо в таблиці 2.9 і 2.10.

Таблиця 2.9 – Вибір розподільчих пунктів РП-0,38 кВ

Назва будівлі (дільниці)	$S_{p\Sigma}$, кВА	I_p , А	Тип РП	$I_{доп}$ РП, А	Кіль- кість прий- мачів	Кіль- кість ліній	Кіль- кість РП	Позн. на рис. 2.1	Тип автома- тичного вимикача
Цех легких бетонів	113,10	85,9	СПА77-2УЗ	100	35	2	1	РП1	ВА-88-37
Цех легких сталевих конструкцій	111,44	84,7	СПА77-2УЗ	100	65	2	1	РП2	ВА-88-37
Цех керамзитових панелей	138,13	104,9	СПА77-2УЗ	150	54	2	1	РП3	ВА-88-37
Сушильне виробництво	117,14	89,0	СПА77-2УЗ	100	47	2	1	РП4	ВА-88-37
Складські приміщення	35,40	26,9	СПА77-2УЗ	40	32	2	1	РП5	ВА-88-37
Насосна станція	81,14	61,6	СПА77-2УЗ	100	24	2	1	РП6	ВА-88-37
Адмінкорпус	27,98	42,5	СПА77-2УЗ	63	89	1	1	РП7	ВА-88-37

Таблиця 2.10 – Вибір ліній схеми внутрішнього електропостачання

Назва КЛ	n	$S_{p\Sigma}$, кВА	I_p , А	Переріз кабелю	l , км	$I_{доп}$, А	$I'_{доп}$, А	$I_{н.ав}$, А	$I'_{доп}$, А	r_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	x_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$\Delta U_{\text{нор}}$, %	$\Delta U_{\text{ПАВ}}$, %
ТП-РП1	2	113,10	85,9	70	0,16	200	206	172	268	0,33	0,0602	1,87	3,75
ТП-РП2	2	111,44	84,7	70	0,11	200	206	169	268	0,33	0,0602	1,27	2,54
ТП-РП3	2	138,13	104,9	95	0,135	240	247	210	321	0,26	0,0602	1,58	3,16
ТП-РП4	2	117,14	89,0	70	0,12	200	206	178	268	0,33	0,0602	1,46	2,91
ТП-РП5	2	35,40	26,9	25	0,12	115	118	54	154	0,89	0,0637	1,11	2,22
ТП-РП6	2	81,14	61,6	50	0,16	165	170	123	221	0,45	0,0612	1,77	3,54
ТП-РП7	1	27,98	42,5	50	0,155	165	170	85	221	0,45	0,0612	1,18	2,37

Всі умови виконуються, отже, приймаємо вибрані перерізи кабелів.

Перевірку вибраних кабелів за стійкістю до термічної дії струмів короткого замикання здійснимо нижче після визначення цих струмів. Розміщення кабельних ліній та силових розподільчих пунктів подано на кресленні 1.

2.10. Розрахунок струмів короткого замикання

В електричних установках можуть виникати різні види коротких замикань (КЗ), які супроводжуються різким збільшенням струму.

Все електрообладнання, що встановлюється в системах електропостачання, повинне бути стійким до струмів КЗ і вибиратись з врахуванням цих струмів.

Основними причинами виникнення коротких замикань в мережі можуть бути:

- пошкодження ізоляції окремих частин електроустановки;
- неправильні дії обслуговуючого персоналу;
- перекриття струмоведучих частин установки.

Коротке замикання в мережі може супроводжуватись:

- припиненням живлення споживачів, приєднаних до точок, в яких виникло КЗ;
- порушенням нормальної роботи інших споживачів, підключених до непошкоджених ділянок мережі, внаслідок пониження напруги на цих ділянках;
- порушенням нормального режиму роботи енергетичної системи.

Для зниження збитків, обумовлених виходом з ладу електрообладнання при протіканні струмів КЗ, а також для швидкого відновлення нормального режиму роботи СЕП необхідно правильно визначити струми КЗ.

За відомими величинами струмів КЗ вибирають електрообладнання, захисну апаратуру і засоби обмеження струмів КЗ.

					ЛНТУ.971092.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проведемо розрахунок струмів КЗ у відносних одиницях наближеним методом.

Методика розрахунку наведена у додатку 2.10.

За базисну потужність приймемо величину $S_6 = 100$ МВА. За базисну напругу приймемо $U_6 = U_{cp} = 10,5$ кВ. Потужність короткого замикання джерела живлення $S_{кз} = 70$ МВА. Отже, розрахуємо опір системи за формулою:

$$\dot{X}_{с*} = \frac{100}{70} = 1,43$$

Зведення параметрів до базисних умов проведемо за розрахунковою та заступною схемами, зображеними на рисунках 2.2 та 2.3.

Опір кабельної лінії визначається згідно виразу:

$$\dot{X}_{кл*} = 0,064 \cdot 2,05 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,116.$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛНТУ.971092.000 ПЗ

Арк.

24

Printed with priPrinter trial software
purchase at www.priPrinter.com

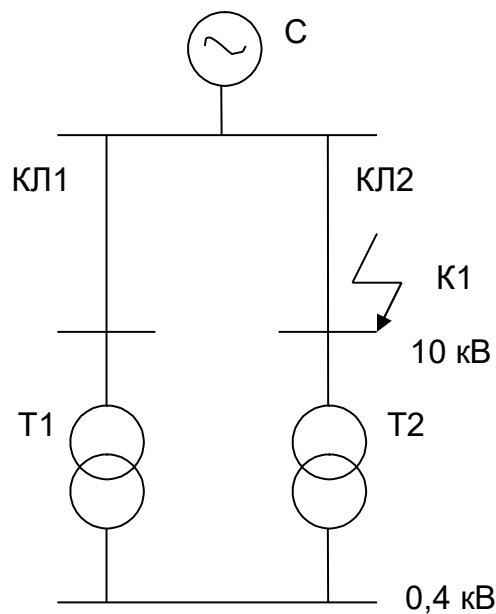


Рисунок 2.2 – Розрахункова
схема короткозамкненого кола

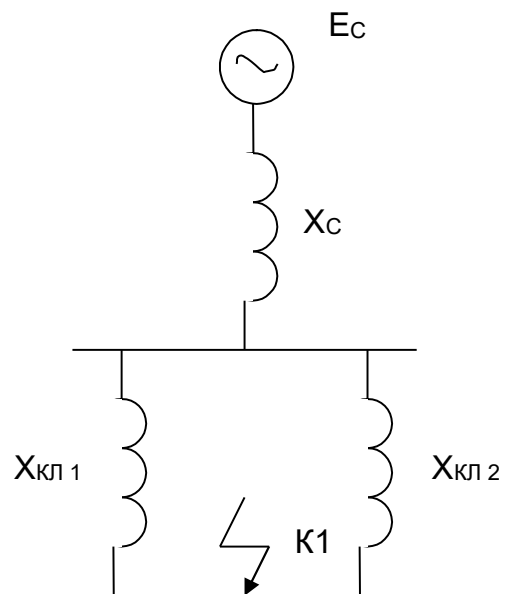


Рисунок 2.3 – Заступна схема
короткозамкненого кола

$$\dot{X}_{кл*} = \frac{0,116}{2} = 0,058.$$

Результуючий опір послідовних елементів становить:

$$\dot{X}_{рез*} = 1,49$$

Схема набуває вигляду, зображеного на рисунку 2.5.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

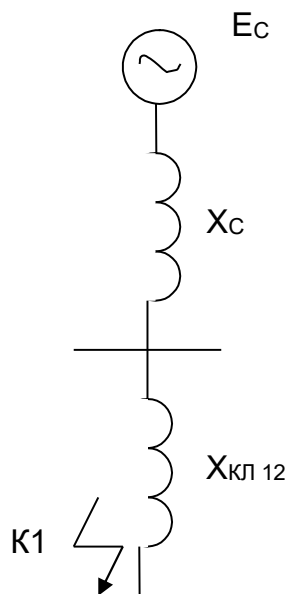


Рисунок 2.4 – Заступна схема в результаті об'єднання паралельних кабельних ліній

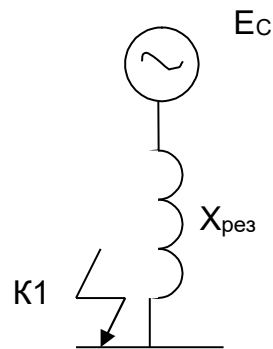


Рисунок 2.5 – Результуюча схема

Струм КЗ в точці К1 становить:

$$I_6 = \frac{70}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 3,85 \text{ кА}$$

$$I_{по} = \frac{3,85}{1,49} = 3,7 \text{ кА}$$

Ударний струм КЗ в точці К1 визначається згідно виразу:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 3,7 = 7,32 \text{ кА}$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛНТУ.971092.000 ПЗ

Арк.

26

Перевіримо вибрані КЛ-10 кВ на термічну стійкість до струмів КЗ. Визначимо мінімальний переріз, стійкий до термічної дії струмів КЗ за формулою:

$$F_{\min} = \frac{3700}{95} \cdot \sqrt{0,25} = 19,47 \text{ мм}^2$$

Отже, остаточно приймаємо кабель типу АПвЕгП -3×35.

Розрахуємо тепловий імпульс струму короткого замикання за формулою:

$$B_K = 3,422 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

2.11. Вибір обладнання

2.11.1. Вибір комплектних розподільчих пристроїв

В якості комплектних розподільчих пристроїв на боці 10 кВ ТП приймаємо камери збірні одностороннього обслуговування КЗО-10 серії КЗО-399. З метою забезпечення резервування на боці високої напруги приймаємо до встановлення шинний міст з роз'єднувачами типу ШМР-1. Технічні параметри камер наведені в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Параметри камери КЗО-399

Параметри	Значення
Номинальна напруга $U_{\text{ном}}$, кВ	10
Номинальний струм плавкої вставки запобіжників $I_{\text{встз}}$, А	40
Номинальний струм відключення вимикача $I_{\text{відкл}}$, кА	630
Номинальний струм електродинамічної стійкості $I_{\text{дин}}$, А	41
Струм термічної стійкості протягом 1 с, кА	51

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛНТУ.971092.000 ПЗ

Арк.

27

Printed with priPrinter trial software
purchase at www.priPrinter.com

2.11.2. Вибір роз'єднувачів

Роз'єднувачі призначені для включень і відключень знеструмлених ділянок електричного кола, що знаходяться під напругою, та заземлення шин. На боці високої напруги підстанції роз'єднувачі передбачимо для можливості забезпечення резервування у випадку виходу з ладу одночасно лінії і трансформатора різних секцій. Наявність шинного моста забезпечує необхідний рівень надійності схеми електропостачання.

Попередньо приймаємо згідно [8; 26, табл.31.7], роз'єднувачі, обладнані заземляючими ножами типу РВз-10/630, встановлені в комірках КЗО-399 01. Згідно [9, § 4-7], вибір та перевірку роз'єднувачів здійснимо згідно методики з додатку 2.11.2.

Результати перевірки зведемо в таблицю 2.12.

Таблиця 2.12 – Перевірка роз'єднувача типу РВз-10/630

<i>Розрахункові дані</i>	<i>Каталожні дані</i>
$U_{уст}=10 \text{ кВ}$	$U_{ном}=10 \text{ кВ}$
$I_{ном}=11,48 \text{ А}$ $I_{max}=22,96 \text{ А}$	$I_{ном}=630 \text{ А}$
$i_y=7,32 \text{ кА}$	$i_{гр \text{ наскр}}=52 \text{ кА}$
$I_{п0}=3,7 \text{ кА}$	$I_{гр \text{ наскр}}=21 \text{ кА}$
$B_K=58,6 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T=21^2 \cdot 4=1200 \text{ кА}^2\text{с}$

Всі умови виконуються, отже, приймаємо остаточно роз'єднувач типу РВз-10/630.

2.11.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників

Вимикачі навантаження встановлено в комірках КЗО-399 04 трансформаторної підстанції. Вони призначені для захисту на стороні високої напруги трансформатора та для комутацій навантаження.

Попередньо вибираємо згідно [8; 26, табл.31.5], вимикач навантаження, з блоком заземляючих ножів типу ВНРп-10з.

Вибір та перевірку вимикачів навантаження здійснюємо згідно [8; 26, §9.5], за методикою, наведеною у додатку 2.11.3.

Результати перевірки вимикачів навантаження та запобіжників зведемо в таблицю 2.13.

Таблиця 2.13 – Перевірка вимикача навантаження типу ВНРп-10з

<i>Розрахункові дані</i>	<i>Каталожні дані</i>
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{ном} = 11,48 \text{ А}$ $I_{max} = 22,96 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$i_y = 7,32 \text{ кА}$	$i_{гр \text{ наскр}} = 80 \text{ кА}$
$I_{п0} = 3,7 \text{ кА}$	$I_{гр \text{ наскр}} = 31,5 \text{ кА}$
$B_K = 15,47 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 31,5^2 \cdot 1 = 31,5 \text{ кА}^2\text{с}$

Всі умови виконуються, отже, приймаємо остаточно вимикач навантаження ВНРп-10з.

2.11.4. Вибір запобіжників

Запобіжники призначені для автоматичного одноразового відключення електричного кола при короткому замиканні або перевантаженні.

Вибираємо попередньо згідно [8; 26, табл.31.6], запобіжники типу ПК1-10 з $I_{вимк \text{ з}} = 40 \text{ А}$.

Вірність вибору запобіжника перевіримо за методикою у додатку 2.11.4

$$S'' = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 3,7 = 51,12 \text{ МВА}$$

Результати перевірки запобіжників зведемо в таблицю 2.14.

Таблиця 2.14 – Перевірка запобіжника ПК1-10

<i>Розрахункові дані</i>	<i>Каталожні дані</i>
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{max} = 22,96 \text{ А}$	$I_{ном.3} = 100 \text{ А}$
$I_{n0} = 3,7 \text{ кА}$	$I_{вимк.3} = 10 \text{ кА}$
$S'' = 51,12 \text{ МВА}$	$S_{.вимк.3} = 100 \text{ МВА}$

Всі умови виконуються, отже, приймаємо остаточно запобіжник ПК1-10.

2.12. Розрахунок силової мережі цеху

2.12.1. Вибір схеми електропостачання

Схеми цехових силових та освітлювальних мереж повинні забезпечувати надійність живлення споживачів електричної енергії, бути економічними та зручними в експлуатації.

Розрахуємо низьковольтну мережу на прикладі цеху. Перелік приймачів електричної енергії цеху, їх кількість та номінальна потужність наведені в таблиці 2.1 даного проекту.

Живляча напруга електроприймачів становить 380 В. Електропостачання приймачів здійснюється від розподільчого пункту, розташованого в приміщенні цеху (тип розподільчого пункту вибрано в таблиці 2.9 даного проекту), за радіальною схемою. Застосування шинопроводів в даному випадку є недоцільним, оскільки цех має невелику площу та кількість приймачів. План розміщення станції наведено на кресленні (план цеху). Загальна кількість приймачів $n = 27$. Розрахункове струмове навантаження цеху становить $I_p = 44 \text{ А}$.

Живлення розподільчого пункту здійснено за допомогою кабелю типу АВВГнг – 4×70 з $I_{доп} = 200 \text{ А}$. Марка та переріз кабелю вибрані в п.2.6.2

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛНТУ.971002.000 ПЗ

Арк.

30

Printed with briPrinter trial software
purchase at www.briPrinter.com

даного проекту. Для вибору проводів, що живлять окремі приймачі скористаємось методикою у додатку 2.12.1.

Вибираємо провід марки ВВГнг-LS, прокладений в металорукавах в підлозі. Результати вибору проводів зведемо в таблицю 2.15.

Таблиця 2.15 – Вибір живлячих проводів цеху

<i>Назва приймача електричної енергії</i>	<i>P_n, кВт</i>	<i>n</i>	<i>I, А</i>	<i>$I_{доп}$, А</i>	<i>F, мм²</i>
Бароустановка	3,5	4	5,3	30	4*2,5
Піногенератор	4,8	4	7,3	30	4*2,5
Дозатор	5,5	4	8,4	30	4*2,5
Змішувач	6,5	4	9,9	30	4*2,5
Верстат струнної порізки	4,6	4	7,0	30	4*2,5
Насос	3	5	4,6	30	4*2,5
Вентилятор	3,5	10	5,3	30	4*2,5

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

Для можливості вибору низьковольтної комутаційної та вимірювальної апаратури розрахуємо струми короткого замикання в низьковольтній мережі.

Електричні мережі напругою до 1 кВ характеризується наявністю великої кількості комутаційно-захисної апаратури. При напрузі до 1 кВ навіть незначні опори суттєво впливають на струм КЗ. Тому в розрахунках враховуємо всі опори короткозамкненої мережі (як індуктивні, так і активні). Згідно [1, с.167], рекомендується при розрахунках струмів КЗ в мережах, що живляться від цехових трансформаторів потужністю до 1600 кВА враховувати їх опори наступним чином: 15 мОм – на розподільчих пристроях на станціях та підстанціях; 20 мОм – для первинних цехових РП, а також на затискачах апаратів, що живляться розподільчими лініями, від щитів підстанції, або головних магістралей; 25 мОм – для вторинних цехових

РП, а також на затискачах апаратів, що живляться від первинних РП; 30 мОм – для апаратури, встановленої безпосередньо біля приймачів електроенергії, що живляться від вторинних РП.

Розрахунок проведемо в іменованих одиницях згідно методики у додатку 2.12.2.

Вихідні дані для розрахунку: базисна напруга $U_6 = 0,4 \text{ кВ}$; струм КЗ на шинах ВН ЦТП $I_{кв} = 3,7 \text{ кА}$.; середня напруга на шинах ВН ЦТП $U_{св} = 10,5 \text{ кВ}$; параметри трансформатора $S_{ном} = 400 \text{ кВА}$; $\Delta P_k = 5,68 \text{ кВт}$; $\Delta u = 5,5\%$; параметри ліній наведені в табл.2.10 і 2.13 даного проекту.

					ЛНТУ.971092.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Printed with priPrinter trial software
purchase at www.priPrinter.com

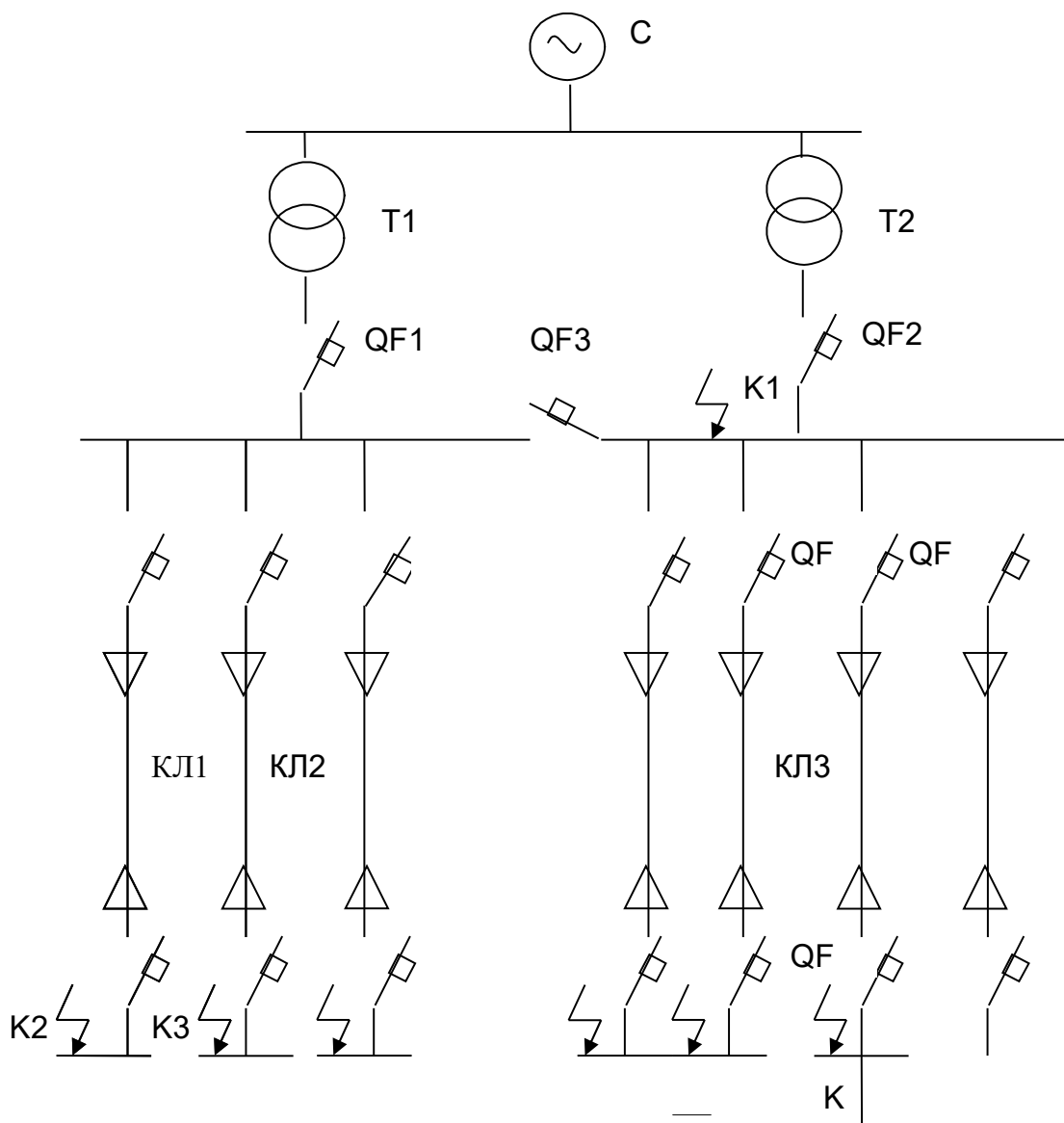


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема короткозамкненого кола

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛНТУ.971092.000 ПЗ

Арк.

33

Printed with priPrinter trial software
purchase at www.priPrinter.com

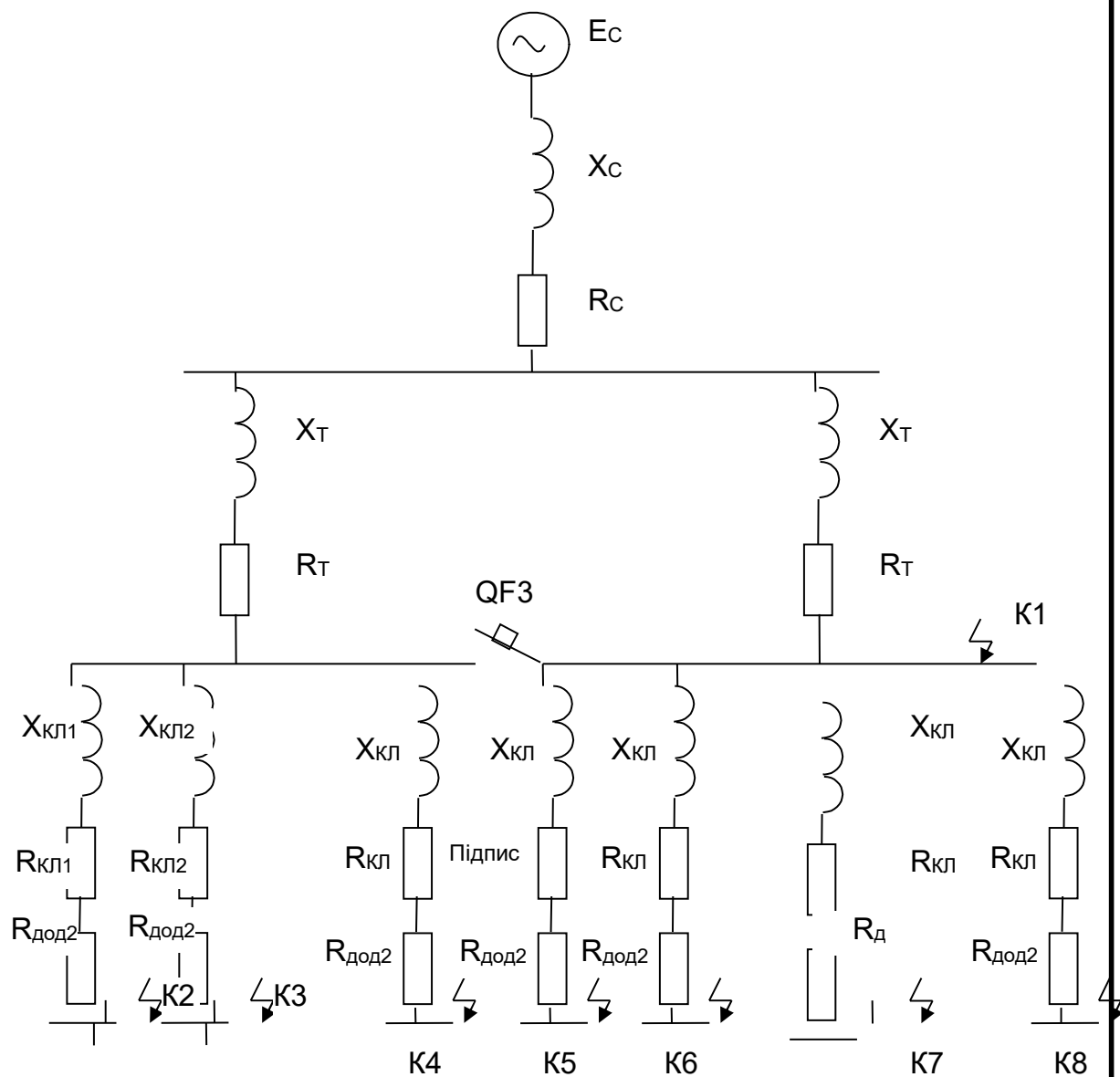


Рисунок 2.7 – Схема заміщення короткозамкненого кола

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛНТУ.971092.000 ПЗ

Арк.

34

Printed with priPrinter trial software
purchase at www.priPrinter.com

Опір системи:

$$R_c = 1,281 \text{ Ом}$$

$$X_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 3,7} = 1,639 \text{ Ом}$$

Опір системи вищого ступеня приведений до нижчої напруги:

Активний:

$$\dot{R}_c = 1,281 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 1,859 \text{ мОм}$$

Реактивний:

$$\dot{X}_c = 1,639 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 2,378 \text{ мОм}$$

Опори трансформатора:

активний

$$\dot{R}_T = \frac{0,0055}{0,4} \cdot \frac{0,4^2}{0,4} = 5,5 \text{ мОм};$$

реактивний

$$\dot{X}_T = \frac{5,68}{100} \cdot \frac{0,4^2}{0,4} = 22 \text{ мОм.}$$

$$\dot{R}_{\text{рез1}} = 22,359 \text{ мОм}$$

					ЛНТУ.971092.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\dot{X}_{\text{рез1}} = 24,378 \text{ МОм}$$

Результати розрахунків опорів зведемо в таблицю 2.16.

Таблиця 2.16 – Визначення опорів кабельних ліній 0,4 кВ

Назва кабельної лінії	l, км	ro	R	хо	X
ТП-РП1	0,16	0,33	52,64	0,06	9,63
ТП-РП2	0,11	0,33	36,19	0,06	6,62
ТП-РП3	0,135	0,26	35,24	0,06	8,13
ТП-РП4	0,12	0,33	39,48	0,06	7,22
ТП-РП5	0,12	0,89	107,28	0,06	7,64
ТП-РП6	0,16	0,45	71,52	0,06	9,79
ТП-РП7	0,155	0,45	69,29	0,06	9,49
РП1-Рmax	0,055	0,21	11,44	0,06	3,28

Таблиця 2.17 – Розрахунок струмів КЗ в мережі 0,4 кВ

Точка КЗ	R _{дод} , МОм	R _{рез} , МОм	X _{рез} , МОм	Z _{рез} , МОм	I _к , кА	k _y	i _y , кА	F _{min} , мм ²	F _{прийн} , мм ²
К0	15	20,489	16,050	26,03	8,873	1,05	13,174		
К1	20	78,13	25,68	82,24	2,808	1	3,971	14,8	70
К2	20	25,49	16,05	30,12	7,667	1	10,841	40,4	70
К3	20	61,68	22,67	65,71	3,514	1	4,969	18,5	95
К4	20	25,49	16,05	30,12	7,667	1	10,841	40,4	70
К5	20	64,97	23,27	69,01	3,346	1	4,732	17,6	25
К6	20	132,77	23,69	134,87	1,712	1	2,421	9,0	50
К7	20	97,01	25,84	100,39	2,300	1	3,253	12,1	50

2.12.3. Вибір трансформаторів струму

На боці 0,4 кВ ТП приймаємо до встановлення розподільчі панелі типу СПА-77 [24, 26, 27] .

Трансформатори струму застосовують для зменшення первинного струму до значень, найбільш зручних для підключення вимірювальних приладів або реле.

Для можливості здійснення розрахункового обліку електричної енергії на боці НН ТП встановлюємо лічильники активної та реактивної енергії «NIK», виробник Україна. Лічильник призначений для вимірювання спожитої та генерованої електроенергії(активної та реактивної) в мережах змінного струму 3х220/380 В. Лічильник дозволяє здійснювати облік електроенергії з застосуванням диференційованих тарифів (за часом доби, типами днів, сезонами) або блочного тарифу. При цьому здійснювати облік в режимі кредиту та/або попередньої оплати; а також амперметри типу Aneng M113. Для забезпечення технічного обліку лічильники NIK також встановлюємо на лініях, які живлять БК.

Для живлення кіл вимірювальних приладів застосовуємо трансформатори струму, які вибираємо згідно [3, табл.60]. Методика вибору і перевірки наведена в додатку 2.12.3.

$$I_{\text{норм}} = \frac{397,66}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 2} = 287 \text{ A}$$

$$I_{\text{max}} = \frac{397,66}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 574 \text{ A}$$

Розрахунок потужності, що споживається приладами, здійснимо в таблиці 2.18.

					ЛНТУ.971092.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.18 – Розрахунок навантаженні трансформатора струму

Назва приладу	Тип приладу	Навантаження, ВА
Амперметр	Aneng M113	0,5
Лічильник активної енергії та реактивної енергії	NIK	5
Всього		5,5

Отже, опір приладів для розрахункового обліку

$$r_{\text{прил}}^p = \frac{5,5}{5^2} = 0,22 \text{ Ом};$$

для технічного обліку

$$r_{\text{прил}}^T = \frac{2,5}{5^2} = 0,1 \text{ Ом}.$$

А вторинне навантаження трансформатора струму для розрахункового обліку

$$r_2^p = 0,22 + 0,045 + 0,05 = 0,315 \text{ Ом};$$

для технічного обліку

$$r_2^T = 0,1 + 0,045 + 0,05 = 0,195 \text{ Ом}.$$

Для здійснення розрахункового обліку попередньо вибираємо згідно [3, табл.60], трансформатори струму типу Т-0,66 виробництва заводу вимірювальних приладів м. Умань, з коефіцієнтом трансформації 600/5.

Результати перевірки зведемо в таблицю 2.19

					ЛНТУ.971092.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Таблиця 2.19 – Перевірка трансформаторів струму типу Т-0,66

<i>Розрахункові дані</i>	<i>Каталожні дані</i>
$U_{уст}=0,4 \text{ кВ}$	$U_{ном}=0,66 \text{ кВ}$
$I_{ном}=287 \text{ А}$ $I_{max}=574 \text{ А}$	$I_{ном1}=600 \text{ А}$
$i_y=13,1 \text{ кА}$ $I_{по}=8,8 \text{ кА}$	$k_{ед} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{ном} = 51 \text{ кА}$ $I_{гр наскр}=31,5 \text{ кА}$
$B_K=8,8^2 \cdot 0,25=19,36 \text{ кА}^2\text{с}$	$(k_T \cdot I_{ном})^2 \cdot t_T = 100 \text{ кА}^2\text{с}$
$z_2 = 0,22 \text{ Ом}$	$z_{2ном} = 1,9 \text{ Ом}$

Всі умови виконуються, отже остаточно приймаємо до встановлення трансформатори струму Т-0,66.

Для технічного обліку приймаємо попередньо трансформатори струму типу Т-0,66 з коефіцієнтом трансформації 250/5 згідно [3; 27, табл.60]. Результати перевірки зведемо в таблицю 2.20. В якості струму I_{max} приймаємо найбільший післяаварійний струм в лінії, розрахований в табл.2.10 даного проекту (струм лінії ТП-РП4).

Таблиця 2.20 – Перевірка трансформаторів струму для технічного обліку

<i>Розрахункові дані</i>	<i>Каталожні дані</i>
$U_{уст}=0,4 \text{ кВ}$	$U_{ном}=0,66 \text{ кВ}$
$I_{ном} = 104,9 \text{ А}$ $I_{max} = 209,8 \text{ А}$	$I_{1ном} = 250 \text{ А}$
$i_y=7,66 \text{ кА}$	$k_{ед} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{ном} = 31 \text{ кА}$
$B_K=7,66^2 \cdot 0,25=14,66 \text{ кА}^2\text{с}$	$(k_T \cdot I_{ном})^2 \cdot t_T = 100 \text{ кА}^2\text{с}$
$z_2 = 0,1 \text{ Ом}$	$z_{2ном} = 1,9 \text{ Ом}$

Всі умови виконуються, отже, приймаємо остаточно трансформатори струму Т-0,66 з коефіцієнтом трансформації 250/5.

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів

В комірках розподільчої панелі на стороні 0,4 кВ силових трансформаторів, на вводах та на виводах розподільчих пунктів встановлюємо автоматичні вимикачі виробництва ІЕК Україна, призначені для автоматичного розмикання електричних кіл при ненормальних режимах. Попередньо вибираємо згідно [8, § 30.3], автоматичні вимикачі відповідно до рис.2.6. Перевірку вірності вибору здійснюємо за методикою у додатку 2.12.4.

Результати вибору та перевірки зведемо в таблицю 2.21

Таблиця 2.21 – Вибір та перевірка автоматичних вимикачів

Назва вимикача	Тип вимикача	Каталожні дані			Розрахункові дані			
		U _{ном} , кВ	I _{ном розщ} , А	I _{гр вимк} , кА	U _{уст} , кВ	I _{ном} , А	I _{max} , А	I _к , А
QF1	BA-88-35P	0,4	200	35	0,4	85,9	171,8	2,808
QF2	BA-88-35P	0,4	200	35	0,4	85,9	171,8	2,808
QF3	BA-88-35P	0,4	200	35	0,4	84,7	165,4	7,667
QF4	BA-88-35P	0,4	200	35	0,4	84,7	165,4	7,667
QF5	BA-88-35P	0,4	250	35	0,4	104,9	209,8	3,514
QF6	BA-88-35P	0,4	250	35	0,4	104,9	209,8	3,514
QF7	BA-88-38	0,4	200	35	0,4	89,0	178	7,667
QF8	BA-88-38	0,4	200	35	0,4	89,0	178	7,667
QF9	BA-88-38	0,4	100	35	0,4	26,9	53,8	3,346
QF10	BA-88-38	0,4	100	35	0,4	26,9	53,8	3,346
QF11	BA-88-33	0,4	100	35	0,4	42,5	85	1,712
QF12	BA-88-33	0,4	100	35	0,4	42,5	85	1,712
QF13	BA-88-33	0,4	100	35	0,4	85,9	85,9	2,300

2.12.5. Вибір рубильників

В комірках розподільчих панелей РП-0,4 кВ трансформаторної підстанції встановлено рубильники виробництва Запоріжського апаратного заводу. Здійснимо попередній вибір рубильників за [11; 27, §30.1] за методикою у додатку 2.12.5.

Результати вибору та перевірки зведемо в таблицю 2.22.

Таблиця 2.22 – Вибір та перевірка рубильників

<i>Розрахункові дані</i>	<i>Каталожні дані</i>
У ввідних комірках ВРП РЕ19-41-31110	
$U_{уст}=0,4$ кВ	$U_{ном}=0,4$ кВ
$I_{ном}=287$ А $I_{max}=574$ А	$I_{ном}=500$ А
$i_y=13,1$ кА	$i_{гр\ наскр}=50$ кА
$B_K=13,1^2 \cdot 0,25=42,9$ кА ² с	$(k_T \cdot I_{ном})^2 \cdot t_T=630$ кА ² с
В розподільчих комірках ВРП РЕ-19-35	
$U_{уст}=0,4$ кВ	$U_{ном}=0,4$ кВ
$I_{max}=209,8$ А	$I_{ном}=250$ А
$i_y=7,66$ кА	$i_{гр\ наскр}=40$ кА
$B_K=7,66^2 \cdot 0,25=14,66$ кА ² с	$(k_T \cdot I_{ном})^2 \cdot t_T=120$ кА ² с

Всі перевірки виконуються.

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

3.1. Вихідні дані

З метою забезпечення нормальних умов праці в приміщенні відділення діагностики проекрованої лікарні встановлено десять радіальних вентиляторів. Проведемо розрахунок системи електропостачання цих вентиляторів згідно наступних вихідних даних:

– продуктивність вентилятора $L = 1100 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = 0,31 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$;

– необхідний тиск, приведений до нормальних умов (густина перекачуваного повітря становить $\rho_0 = 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$) $p = 2000 \text{ Па}$;

– кутова швидкість обертання двигуна (при бажаному з'єднанні з електродвигуном) $\omega = 270 \text{ с}^{-1}$;

– рівняння мережі $p = 110 + 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot L^2$.

3.2. Визначення параметрів радіального вентилятора

Основні аеродинамічні розміри радіальних вентиляторів можна розрахувати згідно методики [п.П.4, 21], заснованої на базі статистичного аналізу випробувань радіальних вентиляторів із задовільними показниками.

					ЛНТУ.971092.000 ПЗ		
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Жук А.С.				Електропостачання заводу легких будівельних конструкцій встановленою потужністю 880 кВт Пояснювальна записка	Літ.	Арк.
Перевір.	Бандура І.О.						42
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр.ЕЕЗ-41	
Затверд.	Волинець В.І.						
						Аркушів	4

Проведемо розрахунки згідно методики в Додатку 3 та результати зведемо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Визначення основних геометричних розмірів вентилятора

Показник	$n_{\text{пит}}$	D_0	D_1	D_2	B	b	A	Z	β_1	β_2
Одиниці Вимірювання	—	м	м	м	м	м	м	—	—	—
Величина	30	0,182	0,182	0,377	0,177	0,077	0,1097	10,5	90^0	170^0

3.3. Визначення параметрів робочої точки

Для визначення параметрів робочої точки вентилятора застосуємо метод накладання характеристик.

Суть методу накладання характеристик полягає в наступному: якщо на характеристику тиску вентилятора накласти отриману в тих самих координатах і в тому самому масштабі характеристику мережі, то точка перетину цих двох кривих (робоча точка) і визначить тиск та продуктивність даного нагнітача в даній мережі.

Робочій точці відповідає умова рівноваги, при якій подача нагнітача рівна витратам рідини через мережу, а тиск, що розвивається нагнітачем, рівний втраті тиску в мережі. Задаючись різними значеннями продуктивності, побудуємо характеристику мережі, в якій працюватиме розрахований вентилятор. Результати розрахунків зведемо в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Побудова характеристики мережі

$L, \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$	0	580	1580	2080	2580	3080
$p, \text{Па}$	110	400	1210	2550	4400	6850

В одній системі координат рис.3.1 побудуємо характеристику мережі 1 та характеристику вентилятора Ц8-18 згідно [21, дод.27].

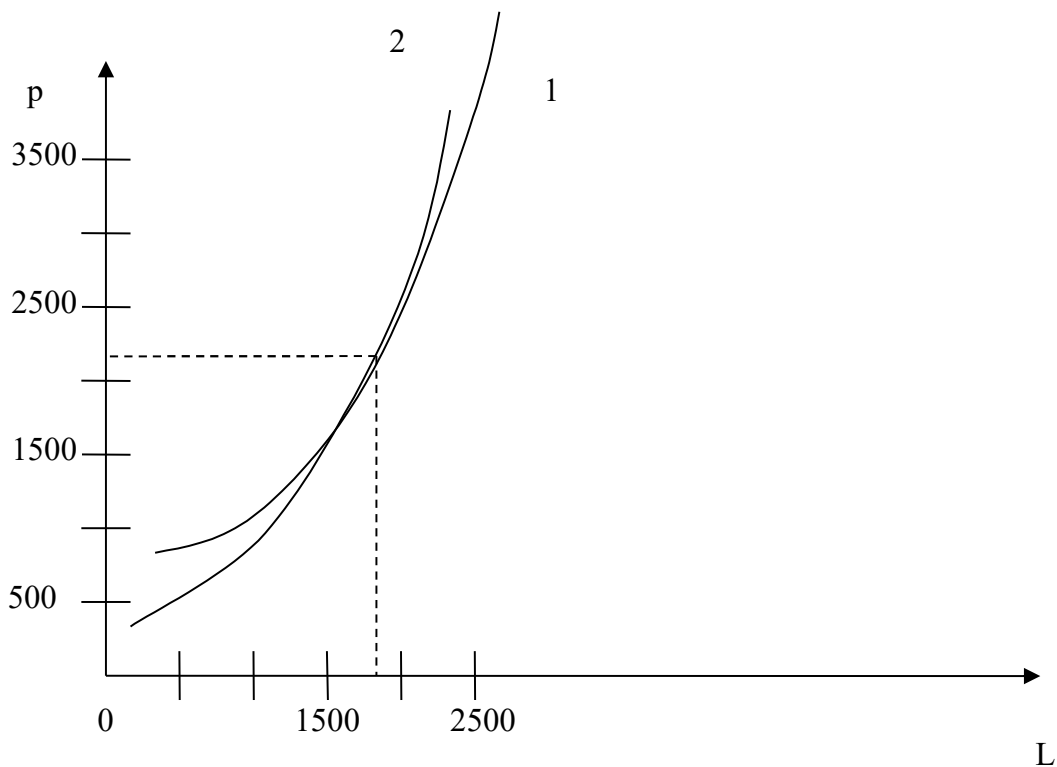


Рисунок 3.1 – Визначення робочої точки

Координати робочої точки наступні:

$$L_p = 1870 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = 0,81 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}; \quad p_p = 2570 \text{ Па.}$$

3.4. Вибір електроприводу вентилятора

Потужність на валу двигуна вентилятора визначимо за методикою в додатку 3.4

$$P_B = 1,05 \cdot \frac{0,5 \cdot 2570}{0,8 \cdot 0,975 \cdot 0,97} \cdot 10^{-3} = 2,99 \text{ кВт}$$

Отже, вибираємо згідно [3, табл.132], двигун типу АКЗ 315-4, для якого:

					ЛНТУ.971092.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\text{дв}} = 3 \text{ кВт.}; n = 1000 \text{ об/хв.}; \eta = 0,815; \cos \varphi = 0,78.$$

Захист двигунів вентилятора від перевантажень здійснюється за допомогою автоматичного вимикача АЗ110, вибраного та перевіреного в п.2.9 даного проекту.

3.5. Система автоматичного керування вентиляторами

Продуктивність вентиляційних установок, як правило, залежить від споживання повітря в ході роботи і зміни зовнішніх умов, наприклад температури, вологості повітря, запиленості. Створити систему автоматизації роботи вентиляційної установки можна шляхом сигналізації про зміни режиму роботи та відповідних переключень в схемі керування.

					ЛНТУ.971092.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Printed with priPrinter trial software
purchase at www.priPrinter.com

РОЗДІЛ 4

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

4.1. Загальні положення автоматизованого проектування

У сучасному виробництві широке поширення одержали системи автоматизованого проектування, які дозволяють проектувати технологічні процеси з меншими витратами часу та засобів, зі збільшенням точності спроектованих процесів і програм обробки, що скорочує витрати матеріалів та час обробки, завдяки тому, що режими обробки також розраховуються та оптимізуються за допомогою ЕОМ.

В даному проекті було розроблено автоматизовану систему розрахунку компенсації центру електричних навантажень та визначення необхідної кількості та типу трансформаторів в оболонці Microsoft Excel (додаток 4).

					ЛНТУ.971092.000 ПЗ			
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання заводу легких будівельних конструкцій встановленою потужністю 880 кВт Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Жук А.С.						
Перевір.		Бандура І.О.					46	1
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.				ФАБЕ, гр.ЕЕЗ-41		
Затверд.		Волинець В.І.						

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Розрахунок заземлюючого пристрою цеху

Методика розрахунку наведено в Додатку 4.

Визначаємо розрахункові питомі опори ґрунту для горизонтальних і вертикальних заземлювачів:

$$\begin{aligned}\rho_{p,z} &= \rho_{\text{нум}} \cdot K_{n,z} = 125 \cdot 2 = 250 \text{ Ом} \cdot \text{м}; \\ \rho_{p,v} &= \rho_{\text{нум}} \cdot K_{n,v} = 125 \cdot 1,4 = 188 \text{ Ом} \cdot \text{м},\end{aligned}$$

Опір розтіканню одного вертикального електрода стержневого типу визначаємо за формулою з [8, табл. 12.1]:

$$R_{o,e,e} = \frac{\rho_{p,e}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right) = \frac{250}{2 \cdot 3,14 \cdot 250} \left(\ln \frac{2 \cdot 2}{16 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,7 + 2}{4 \cdot 1,7 - 2} \right) = 45,3 \text{ Ом}.$$

Визначаємо приблизну кількість вертикальних заземлювачів при попередньо прийнятому по [6, табл. 8-4] коефіцієнті використання $K_{e,e} = 0,64$ (відношення відстані між електродами до їх довжини рівне 2, орієнтовна кількість вертикальних електродів у відповідності з планом об'єкта складає 6)

$$N = \frac{R_{o,e,e}}{K_{e,e} \cdot R_u} = \frac{45,3}{0,64 \cdot 10} \approx 7,07.$$

					ЛНТУ.971092.000 ПЗ		
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Жук А.С.			Електропостачання заводу легких будівельних конструкцій встановленою потужністю 880 кВт Пояснювальна записка	Літ.	Арк.
Перевір.		Бандура І.О.					47
						Акрушів	
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.				ФАБЕ, гр.ЕЕЗ-41	
Затверд.		Волинець В.І.					

Визначаємо розрахунковий опір розтіканню горизонтальних електродів за формулою з [6, табл. 12.1]:

$$R_{p,z,e} = \frac{\rho_{p,z}}{K_{\theta,z} \cdot 2\pi l} \ln \frac{l^2}{dt} = \frac{250}{0,31 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 188} \ln \frac{188^2}{0,016 \cdot 0,708} = 48,5 \text{ Ом.}$$

Уточнюємо необхідні опори вертикальних електродів:

$$R_{\theta,e} = \frac{R_{p,z,e} \cdot R_{\theta}}{R_{p,z,e} - R_{\theta}} = \frac{48,5 \cdot 10}{48,5 - 10} = 10,21 \text{ Ом.}$$

Визначаємо число вертикальних електродів при коефіцієнті використання $K_{\theta,\theta,y} = 0,61$, прийнятому з [6, табл. 8-5] при $N=6$ та $a/l = (p/20)/2 = 1,5$, де $p=210$ м – периметр контура розміщення електродів:

$$N = \frac{R_{\theta,e}}{K_{\theta,\theta,y} \cdot R_{\theta,e}} = \frac{48,5}{0,61 \cdot 10,21} = 7,13.$$

Визначимо результуючий опір заземлюючого контуру:

$$R_{z,рез} = \frac{R_{p,z,e} \cdot R_{\theta,e}}{R_{p,z,e} + R_{\theta,e}} = \frac{48,5 \cdot 10,21}{48,5 + 10,21} = 8,43$$

Приймаємо до встановлення 8 вертикальних електроди, що розміщені по контуру цеху.

					ЛНТУ.971092.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Система електрозабезпечення виробництва керамзитобетонних виробів, проєктування якого виконане в даному проєкті, відповідає вимогам до електричних мереж, задекларованим в [23]. Для цього були прийняті такі проєктні рішення:

- для внутрішнього та вуличного освітлення вибрані енергозберігаючі LED світильники;
- внутрішнє джерело живлення ТП-10/0,4 наближене до центру електричних навантажень;
- при виборі трансформаторів враховано їх пропускну здатність за активною та реактивною потужністю; вибрано низьковольтні компенсуючі пристрої;
- застосування компенсації реактивної потужності дозволило мінімізувати втрати, врегулювати економічні відносини з постачальником, створити можливість впливу на рівень напруги в мережі;
- для зовнішнього електрозабезпечення підприємства вибрано дві кабельні лінії (з метою резервування); вибраний найбільш економічно доцільний переріз кабелів;
- для внутрішнього електрозабезпечення підприємства обрано радіальну схему;
- обране сучасне електрообладнання з належними електротехнічними характеристиками;
- розраховано контур захисного заземлення цеху задля безпеки експлуатації.

					ЛНТУ.971092.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015. Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств. [Чинний від 01.07.2016]. Вид. офіц. К: Мінрегіон України, 2016. 49 с.
2. Бурбело, М. Й. Розрахунок внутрішнього електропостачання : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2017. 122 с.
3. Суворова К. І. Промислове освітлення : конспект лекцій для магістрів денної форми навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка освітньо-професійної програми «Світлотехніка і джерела світла» / К. І. Суворова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 82 с.
4. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. [Чинний від 01.03.2019]. Вид. офіц. К: Мінрегіон України, 2018. 137 с.
5. Освітлювальне обладнання. URL: <https://vatra.ua/ukr/products/industrial-lighting/dsp46u-VATRA>
6. Бурбело М.Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків. Навчальний посібник. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. 148 с.
7. Рудницький В.Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування: навчальний посібник 2-ге вид., перероб. та доповн. Київ : Освіта України, 2013. 287 с.
8. Конденсаторні установки. URL: <https://electrocontrol.com.ua/ua/elektroshhitovoe-oborudovanie/kondensatornye-ustanovki-aku-04>
9. Калужний Д.М. Конспект лекцій з курсу «Електропостачання та електрозбереження» (для студентів 4 курсу денної та заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології та

					ЛНТУ.971092.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

слухачів другої вищої освіти зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Електротехнічні системи електроспоживання) / Д. М. Калюжний, А. О. Карюк, І. Є. Щербак; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 124 с.

10. Кабелі силові 10 кВ. URL:

<https://www.yuzhcable.info/index.php?CAT=15&MRI=150201>

11. Кабелі силові з ПВХ ізоляцією 1 кВ. URL:

<https://www.yuzhcable.info/index.php?CAT=18&MRI=180108&UN=1>

12. Пункт розподільний 0,4 кВ. URL:

<https://electrocontrol.com.ua/ua/elektroshhitovoe-oborudovanie/punkt-raspreditelnyj-pr11-pr11d>

13. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. Міненерговугілля України. Х. : Видавництво «Форт», 2017. 760 с.

14. Мілих В.І. Електропостачання промислових підприємств: Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. Харків: ФОП Панов А.М., 2018. 269 с.

15. Перехідні процеси в системах електропостачання: підручник для ВНЗ / Г.Г. Півняк та ін. ; за заг. ред. Г.Г. Півняка. 5-е вид., доопрац. і допов. Дніпро : НГУ, 2016. 600 с.

16. Комплектно-розподільчий пристрій 10 кВ. URL:

<http://www.rzva.ua/modules/pages/files/TIKU10SRED23.pdf>

17. Вакуумний вимикач ВРС-10. URL:

http://www.rzva.ua/ua/produkcija/komutaciini-aparati_1472639412/vakuumni-vimikachi-10-kv_1472639305/vrs-10_1472639277.htm

18. Роз'єднувач РВЗ-10. URL: <http://www.em.dn.ua/vv/razed/rvz-10.htm>

19. Камера збірна одностороннього обслуговування КЗО-10У. URL:

<http://www.rzva.ua/modules/pages/files/katalog%20RZVA%202022%20UA.pdf>

20. Вимикач навантаження ВНР. URL: https://ukrelcom.com/bhp_pa_uk.php

21. Трансформатори власних потреб. URL: <http://eliz.zp.ua/catalog-eliz/transformators-power/dry-power-transformatory/3-20kv/66-6-10kv-transformatory-trehfaznye-tipa-tskc.html>
22. Запобіжники ПКТ та ПКН. URL: https://quartz.zp.ua/uploads/files/products/pkt_pkn_ua.pdf
23. Лічильник електроенергії NIK2300. URL: <https://nik.net.ua/product/nik-2300-new-6>
24. Трансформатори струму ТПЛ 10 кВ. URL: <http://energosfera.org.ua/transformatory/izmeritelnye-transformatory-toka/litye-izmeritelnye-transformatory-toka-10kv/transformator-tpl-10.html>
25. Трансформатори струму ТЗЛУ 10 кВ. URL: <https://beontop.com.ua/products/tplu-10-1>
26. Вимірювальні трансформатори напруги НТМІА-10. URL: <http://energosfera.org.ua/transformatory/izmeritelnye-transformatory-napryazheniya/trekhfaznye-maslyanye-izmeritelnye-transformatory-napryazheniya-10kv/transformator-ntmia-10.html>
27. Розподільчі комірки ЩО-06. URL: <https://www.valon-a.org/production/paneli-raspredelitelnyix-shhitov-shho-06/shho-06-uz/>
28. Автоматичні вимикачі ЕТІ. URL: <https://www.eti.ua/produktsiya-ua/circuit-breakers-20-1600a>
29. Трансформатори струму ТШ-0,66, Т-0,66. URL: <https://www.megommetr.com/index.php/transformatory-toka>
30. Моделі елементів електропостачальних систем [Текст]: конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форм навчання / уклад. В. І. Волинець. Луцьк : ВІП ЛНТУ, 2021. 76 с.