

Луцький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет архітектури, будівництва та енергетики
(повне найменування факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повне найменування кафедри)

спеціальність	141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (шифр і назва спеціальності)
освітня програма	«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (назва освітньої програми)

(підпис)

(підпис)

Луцьк – 2026 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	архітектури, будівництва та енергетики
Кафедра	електричної інженерії
Ступінь вищої освіти	бакалавр
Галузь знань	14 Електрична інженерія
Спеціальність:	141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма	Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

«__» _____ 202__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Пенцаку Богдану Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційного проекту: Електропостачання пакувального виробництва встановленою потужністю 1100 кВт

Керівник проекту: асистент Вітер Дмитро Володимирович
затверджені наказом ВНЗ від « 31 » грудня 2025 р. № 971/01-07

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційного проекту 15 травня 2026 р.

3. Вихідні дані до проекту Генеральний план підприємства, план розташування обладнання, відомості про електроприймачі підприємства (номінальні параметри, режими роботи, категорія по надійності електропостачання), класи пожежонебезпечних і вибухонебезпечних зон об'єктів, умови компенсації реактивної потужності, час споживання максимальної потужності, інформація про джерело живлення.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):

1. Коротка характеристика об'єкту проектування.
2. Основні проектні рішення.
3. Електропостачання вентиляційної установки.
4. САПР.
5. Електробезпека.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1. Генеральний план підприємства.
2. Однолінійна схема електропостачання.
3. План розміщення обладнання.
4. Схема розподільних щитів 0,4 кВ.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Коротка характеристика об'єкту проектування	Вітер Д.В.		
2. Основні проектні рішення	Вітер Д.В.		
3. Електропостачання вентиляційної установки	Вітер Д.В.		
4. САПР	Вітер Д.В.		
5. Електробезпека	Вітер Д.В.		

7. Дата видачі завдання 3 січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційного проекту бакалавра	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Коротка характеристика об'єкту проектування	03.02.2026	
2	Основні проектні рішення	03.03.2026	
3	Електропостачання вентиляційної установки	17.03.2026	
4	САПР	24.03.2026	
5	Електробезпека	07.04.2026	
6	Оформлення пояснювальної записки	21.04.2026	
7	Оформлення графічного матеріалу	10.05.2026	
8	Перевірка на плагіат кваліфікаційного проекту	15.05.2026	

8. Затвердження відповідності графічного матеріалу вимогам нормативних документів

№ з/п	Назва креслення	Підпис	Дата
1	Генеральний план підприємства		
2	Однолінійна схема електропостачання		
3	План розміщення обладнання		
4	Схема розподільних щитів 0,4 кВ		

Здобувач вищої освіти

(Пенцак Б.В.)

(прізвище, ініціали)

Керівник

кваліфікаційного проекту

(Вітер Д.В.)

(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Пенцак Б.В. Електропостачання пакувального виробництва встановленою потужністю 1100 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 промислового підприємства. Проєктування 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 розрахунків 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

B. Pentsak. Power supply of packaging production with an installed capacity of 1100 kW. Manuscript.

Bachelor's qualification project of OP "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 used sources, and appendices.

The project developed (proposed) the power supply system of an industrial enterprise. The design is made on the basis of electrical engineering 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 adopted project decisions based on the method of reduced costs.

As a result of the calculations, we received the electricity supply system of this enterprise with high indicators of economic validity.

Adopted design decisions allow to proceed to their practical implementation and implementation of the designed power supply system.

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

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ	9
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ.....	11
2.1. Розрахунок силових електричних навантажень.....	11
2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень.....	12
2.3. Визначення результуючих навантажень.....	14
2.4. Побудова картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень.....	14
2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів ТП з врахуванням компенсації реактивної потужності.....	15
2.6. Компенсація реактивної потужності.....	16
2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях.....	17
2.8. Проектування мережі живлення підприємства.....	17
2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі.....	18
2.10. Розрахунок струмів короткого замикання.....	19
2.11. Вибір обладнання.....	21
2.11.1. Вибір комплектних розподільчих пристроїв.....	21
2.11.2. Вибір роз'єднувачів.....	22
2.11.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників.....	23
2.12. Розрахунок низьковольтної мережі цеху.....	23
2.12.1. Вибір схеми електропостачання.....	23
2.12.2. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ.....	25
2.12.3. Вибір трансформаторів струму.....	28

					ЛНТУ.971100.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Пенцак Б.В.			Електропостачання пакувального виробництва встановленою потужністю 1100 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Вітер Д.В.					6	66
						ФАБЕ, гр.ЕЕЗ-41		
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.						
Затверд.		Волинець В.І.						

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів.....	29
2.12.5. Вибір рубильників.....	29
РОЗДІЛ 3 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ.	30
РОЗДІЛ 4 САПР.....	33
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	36
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	37
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	38
ДОДАТОК 1 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ.....	41
ДОДАТОК 2 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ.....	61
ДОДАТОК 3 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА.....	65

ВСТУП

Електричні інженерні мережі пакувальних підприємств [1, 2] призначені для безперебійного електропостачання їх споживачів. Такі мережі зазвичай охоплюють процеси приймання електричного струму напругою 10 або 6 кВ, трансформування напруги з рівня 10, 6 до рівня 0,4 кВ, розподіл електричної енергії між виробничими та іншими будівлями підприємства.

З точки зору надійності електропостачання мережі пакувальних виробництв зазвичай належать до категорії не нижче II, окрім допоміжних будівель, наприклад, склади, гаражі, господарські споруди, прохідні, тощо. Допоміжні будівлі належать до III категорії.

При проєктуванні систем електропостачання пакувальних підприємств слід приділяти увагу таким факторам:

наявність резервного живлення, що відповідає категорії надійності електропостачання підприємства;

забезпечення якості електроенергії (наявність систем вимірювання та обліку, належна пропускна здатність електричних мереж для уникнення великих втрат напруги, наявність засобів керування параметрами режиму, зокрема напругою);

економічна обґрунтованість прийнятих рішень (вибір найбільш доцільних з економічної точки зору потужностей силових трансформаторів, конденсаторних батарей (за наявності), перерізів ліній електропередавання, схем електропостачання, вдале розташування джерела живлення, тощо);

безпека експлуатації (розроблення комплексної системи заходів, які б гарантували безпечну експлуатацію електрообладнання підприємства та елементів його електричних мереж високої та низької напруги);

автоматизація розрахунків;

застосування сучасних методик розрахунку та проєктування, рекомендованих в [1 – 3].

					ЛНТУ.971100.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

Проектований завод займається виготовленням пакувальних плівок та безпосередньо пакуванням продукції.

Призначенням упаковки є захист товару від механічних пошкоджень та впливу оточуючого середовища. В загальному розрізняють два види упаковки: споживча, яка безпосередньо контактує з продукцією, та транспортна. Крім того, розрізняють вакуумну та герметичну упаковку.

Пакувальні матеріали повинні характеризуватись стерильністю, нейтральністю до упакованого товару та екологічністю.

Пластикові пакувальні матеріали є доволі поширеними через гнучкість, водонепроникність та еластичність. Крім того, вони мають відносно низьку вартість.

Структуру та характеристики об'єктів заводу відображено у таблиці 1.1, сукупні характеристики усього підприємства – в таблиці 1.2.

Таблиця 1.1 – Характеристики цехів заводу

Назва об'єкту	Розміри будівлі			Встановлена потужність, кВт
	Довжина, м	Ширина, м	Площа будівлі, м²	
1. Цех пакування технічною плівкою	72	36	2592	198
2. Цех пакування в термозбігову плівку			1080	191
3. Цех пакування харчовою плівкою	72	36	2592	194
4. Цех розливу рідини	60	30	1800	210
5. Цех фасування	36	60	2160	200
6. Господарський корпус	54	36	1944	107
Всього			12168	1100

					ЛНТУ.971100.000 ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання пакувального виробництва встановленою потужністю 1100 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.		Арк.		Аркушів	
Розроб.		Пенцак Б.В.							9	2	
Перевір.		Вігер Д.В.				ФАБЕ, гр.ЕЕз–41					
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.									
Затверд.		Волинець В.І.									

Таблиця 1.2 – Вихідні дані

Назва параметру	Одиниці вимірювання	Значення
Кількість змін	—	1
Тривалість роботи електрообладнання в рік τ	год.	2220
Час використання максимального навантаження $T_{\max}$	год.	1290
Джерело живлення	—	РП-10 кВ
Відстань до джерела l	км	1,8
Потужність короткого замикання на шинах джерела живлення $S_{\text{кз}}$	МВА	45,5
Вхідна реактивна потужність $Q_{\text{е max}}$	кВАр	200
Загальна територія підприємства	м ²	31104
Категорія надійності споживачів: I (пристрої пожежної сигналізації, евакуаційне освітлення) II (приймачі основних виробничих <u>цехів</u>) III (приймачі господарського корпусу, приймачі, що виконують допоміжні функції)	% % %	0,3 73,5 26,2

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ

2.1. Розрахунок силових електричних навантажень

В даному пункті проєкту розраховуємо згідно з [2, 3] силові електричні навантаження на шинах ввідно-розподільних пристроїв кожного цеху та на збірних шинах низької напруги трансформаторної підстанції (табл.2.1), а також навантаження на шинах силових щитів 2.1, 2.2 низької напруги, до яких приєднані групи приймачів цеху пакування в термозбігову плівку (табл.2.2).

Таблиця 2.1 – Розрахунок навантажень силових приймачів підприємства

Номер цеху	P_n , кВт	Середні навантаження за найбільш завантажену зміну			Розрахункові навантаження		
		$P_{ср.зм}$, кВт	$Q_{ср.зм}$, кВАр	$S_{ср.зм}$, кВА	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА
1	198	97,02	106,72	144,23	130,98	106,72	168,95
2	191	68,56	68,57	96,97	98,40	72,21	122,05
2.1	115	38,43	39,33	54,99	59,15	42,97	73,11
2.2	76	30,13	29,24	41,99	39,25	29,24	48,94
3	194	89,24	107,09	139,40	124,94	107,09	164,55
4	210	96,60	106,26	143,61	123,65	106,26	163,03
5	200	90,00	99,00	133,79	130,50	99,00	163,80
6	107	32,10	32,42	45,62	41,73	32,42	52,84
Всього	1100	473,52	520,06	703,62	650,19	523,71	835,23

					ЛНТУ.971100.000 ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання пакувального виробництва встановленою потужністю 1100 кВт. Пояснювальна записка.				Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Пенцак Б.В.									
Перевір.		Вітер Д.В.								9	19
									ФАБЕ, гр.ЕЕз–41		
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.									
Затверд.		Волинець В.І.									

Таблиця 2.2 – Розрахунок силових навантажень на шинах щитів 2.1, 2.2

Назва електро- приймача	P _н , кВт	n	P _н , кВт	K _{вик}	t _{гор}	m	p _ф	K _{кор}	Розрахункові навантаження			
									P _{роз} , кВт	Q _{роз} , квар	P _в , кВт	Q _в , квар
	Щит 2.1											
	Електроприймачі із змінним графіком навантаження											
Термозбіжна машина тунельного типу	13	3	39	0,32	1,02	2,60	10	1,6	12,48	12,73	55,25	40,05
Термотоннель з ручним запайщиком	15	3	45	0,35	1,1				15,75	17,33		
Етикетувальна машина	5	2	10	0,36	1,03				3,60	3,71		
Автомат для виготовлення упаковок	7,5	2	15	0,18	0,98				2,70	2,65		
	Електроприймачі з постійним графіком навантаження											
Шафа витяжна	3	2	6	0,65	0,75				3,90	2,93	3,90	2,93
Всього 2.1		12	115						38,43	39,33	59,15	42,97
	Щит 2.2											
	Електроприймачі із змінним графіком навантаження											
Автомат для видування ПЕТ пляшки	4	2	8	0,28	0,99	8,80	13	1,35	2,24	2,22	35,17	26,14
Машина фасувально- закупорювальна	6	2	12	0,25	1,01				3,00	3,03		
Автомат пакувальний	4,25	2	8,5	0,2	1,03				1,70	1,75		
Машина для візуального контролю пляшок	1,25	2	2,5	0,2	0,98				0,50	0,49		
Термотоннель автомат	9	2	18	0,42	1,02				7,56	7,71		
Пристрій транспортний для переміщення пляшок	10	1	10	0,5	0,99				5,00	4,95		
Конвеєр стрічковий	11	1	11	0,55	0,99				6,05	5,99		
	Електроприймачі з постійним графіком навантаження											
Шафа витяжна	3	2	6	0,68	0,76				4,08	3,10	4,08	3,10
Всього 2.2		14	76						30,13	29,24	39,25	29,24
ВСЬОГО		26	191						68,56	68,57	98,40	72,21

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

Для освітлення цехів пакувального виробництва вибираємо з [4] купольні LED-світильники, рекомендовані для застосування в цехах висотою

більше 5 м, яким властиві: енергозбереження (споживання електричної енергії на 60 – 80% менше, ніж в дугових ртутних); довговічність (термін служби до 50 тис. год); стійкість до вібрацій.

Таблиця 2.3 – Вибір джерел світла

Номер цеху	Розряд зорової роботи	$E_{\text{норм}}, \text{лк}$	Тип світильника	$F, \text{лм}$	$P, \text{кВт}$
1	Va	300	НВ-УС-Е-150W	15000	150
2	Va	300	НВ-УС-Е-150W	15000	150
3	Va	300	НВ-УС-Е-150W	15000	150
4	Va	300	НВ-УС-Е-150W	15000	150
5	Va	300	НВ-УС-Е-150W	15000	150
6	VIIIб	75	Biom 75W 6000K IP20 LN-4-75-1200-6 23410b	7200	75

Таблиця 2.4 – Розрахунок освітлювального навантаження підприємства

Номер цеху	$F, \text{м}^2$	$h, \text{м}$	$P_{\text{пит}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	$P_o, \text{кВт}$	$K_{\text{пра}}$	$K_{\text{п}}$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{р.о}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{р.о}}, \text{квар}$
1	2592	8	3,35	8,68	1,2	0,9	0,33	9,38	3,09
2	1080	8	3,35	3,62	1,2	0,9	0,33	3,91	1,29
3	2592	8	3,35	8,68	1,2	0,9	0,33	9,38	3,09
4	1800	8	3,35	6,03	1,2	0,9	0,33	6,51	2,15
5	2160	8	3,35	7,24	1,2	0,9	0,33	7,81	2,58
6	1944	5	3,18	6,18	1,2	0,9	0,33	6,68	2,20
Всього	12168			40,43				43,67	14,41

Для вуличного освітлення приймаємо з [4] джерела світла EVROLIGHT 30W 6400K ST – 30 – 08IP65:

$$\sum \varepsilon = \frac{10^3 \cdot 2,75 \cdot 0,85 \cdot 11}{2700} = 9,52 \text{ лк};$$

$$\frac{L}{h} = 12; L = 12 \cdot 11 = 132 \text{ м};$$

$$L_{\Sigma} = 3600 \text{ м}; N = \frac{3600}{132} = 27,3 \Rightarrow N_{\text{прийн}} = 28;$$

$$P_{\text{вст.зовн}} = 30 \cdot 28 \cdot 10^{-3} = 0,84 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{розр.зовн}} = 1,2 \cdot 0,9 \cdot 0,84 = 0,91 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{розр.зовн}} = 0,91 \cdot 0,33 = 0,3 \text{ кВАр}.$$

2.3. Визначення результуючих навантажень

В даному пункті проєкту розраховуємо сумарні електричні навантаження на шинах ввідно-розподільних пристроїв кожного цеху та на збірних шинах низької напруги трансформаторної підстанції. До складу сумарних навантажень входять силові та освітлювальні.

Таблиця 2.5 – Розрахунок результуючих навантажень

Номер цеху	$P_{вст\Sigma}$, кВт	$P_{ср.зм\Sigma}$, кВт	$Q_{ср.зм\Sigma}$, квар	$S_{ср.зм\Sigma}$, кВА	$P_{р\Sigma}$, кВт	$Q_{р\Sigma}$, квар	$S_{р\Sigma}$, кВА
1	206,68	106,40	109,82	152,91	140,35	109,82	178,21
2	194,62	72,47	69,86	100,66	102,30	73,50	125,97
2.1	115,00	38,43	39,33	54,99	59,15	42,97	73,11
2.2	79,62	34,04	30,53	45,72	43,15	30,53	52,86
3	202,68	98,62	110,18	147,87	134,31	110,18	173,73
4	216,03	103,11	108,41	149,62	130,16	108,41	169,39
5	207,24	97,81	101,58	141,02	138,31	101,58	171,61
6	113,18	38,78	34,62	51,99	48,41	34,62	59,51
Освітлення території	0,84	0,91	0,30	0,96	0,91	0,30	0,96
Всього	1141,27	518,09	534,77	745,01	694,76	538,42	879,38

2.4. Побудова картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень

Для візуального оцінювання просторового розподілу електричних навантажень по території пакувального підприємства будуємо їх картограму.

Радіуси кіл картограми пропорційні до навантажень відповідних цехів в обраному масштабі. Освітлювальні навантаження показують у вигляді заштрихованих секторів, розмір яких визначається як співвідношення освітлювального та сумарного навантаження відповідної будівлі.

Крім того, картограма дозволяє обґрунтувати місце встановлення трансформаторної підстанції.

Таблиця 2.6 – Визначення центру електричних навантажень

№ цеху	x, м	y, м	$P_{\Sigma} \cdot x$	$P_{\Sigma} \cdot y$	$Q_{\Sigma} \cdot x$	$Q_{\Sigma} \cdot y$	r	α
1	48	30	6737	4211	5271	3295	24	24
2	201	150	20563	15345	14774	11026	20	14
3	48	150	6447	20147	5289	16527	24	25
4	126	153	16400	19915	13660	16587	23	18
5	186	42	25727	5809	18894	4266	23	20
6	39	114	1888	5518	1350	3947	14	50
Всього			77762	70945	59238	55648		
X_{Σ}	111							
Y_{Σ}	103							

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

Метою даного пункту проекту є вибір оптимальної потужності силових трансформаторів [5] знижувальної підстанції пакувального підприємства з урахуванням компенсації реактивної потужності на рівні збірних шин низької напруги [6].

Також в розрахунках враховуємо умову економічності, для чого розглядаємо два варіанти виконання знижувальної підстанції.

Таблиця 2.7 – Вибір трансформаторів

Варіант встановлення	$\sigma, \frac{\text{кВА}}{\text{м}^2}$	$S_T, \text{кВА}$	N	$N_{\min}$	m	$N_{\text{опт}}$	$Q_{\max T}, \text{кВАр}$
I	0,06	630	1,17	2	0	2	713,79
II		400	1,85	2	0	2	212,55

Таблиця 2.8 – Вибір низьковольтних батарей конденсаторів

Варіант встановлення	$Q_{\text{НБК1}}, \text{кВАр}$	k_{p1}	k_{p2}	γ	$Q_{\text{НБК2}}, \text{кВАр}$	$Q_{\text{НБК}}, \text{кВАр}$	Потужність НБК
I	0	24	27	0,63	0	0	0
II	322,22	24	17	0,42	0	322,22	160

Таблиця 2.9 – Техніко-економічне порівняння можливих варіантів встановлення

Варіант встановлення	ΔP_x , кВт	ΔP_k , кВт	τ , год	W , тис.кВт·год	C_e , тис.грн	K , тис.грн	Z , тис.грн
I	1,18	8,5	561	6,4069	50,0379	873,68	159,25
II	0,95	5,6	561	4,98731	38,951	1020,00	166,45

Вибираємо $2 \times TM - 400 / 10$; $2 \times KKY - 0,4 - 160 - 10 - 21Y3$.

Перевіряємо вибрані трансформатори за перевантажувальною здатністю :

$$1,4 \cdot 400 = 560 \text{ кВА} > \frac{2 \cdot (1 - 0,262) \cdot 745,01}{2} = 549,82 \text{ кВА}.$$

2.6. Компенсація реактивної потужності

Компенсація реактивної потужності в електричних мережах підприємств дозволяє знизити плату за перетікання реактивної потужності за рахунок зменшення споживання та знижки за залучення споживача до регулювання балансу реактивної потужності; розвантажити електричну мережу та підвищити якість напруги.

Таблиця 2.10 – Розрахунок компенсації реактивної потужності

Показник	Од.вимір.	Значення
$Q_{\text{ср.зм}\Sigma}$	кВАр	534,77
$Q_{\text{еmax}}$	кВАр	200
$Q_{\text{НБК ф}}$	кВАр	160
ΔQ_T	кВАр	20
$K_{\text{НС}}$	–	0,75
Q_{M1}	кВАр	401,08
Q_{K1}	кВАр	201,08
$Q_{\text{НС T}}$	кВАр	414,77
$Q_{\text{ВБК}}$	кВАр	81,08

З розрахунку видно, що компенсацію вигідніше з технічної та економічної точки зору виконувати на збірних шинах низької напруги знижувальної підстанції. Для цього застосовуємо автоматичні низьковольтні

конденсаторні установки з мікропроцесорними регуляторами сумарною потужністю:

$$Q_{\text{НБК.}\Sigma} = 2 \cdot 160 + 81,08 = 401,08 \text{ кВАр} \Rightarrow \text{ККУ} - 0,4 - 220 - 10 - 21 \text{ УЗ.}$$

2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях

В даному пункті проєкту розраховуємо сумарні навантаження на збірних шинах високої напруги знижувальної підстанції підприємства.

Таблиця 2.11 – Розрахунок навантажень на рівні 10 кВ

Розрахункове навантаження	Одиниці вимірювання	Значення
P_{p3}	кВт	518,09
Q_{p2}	кВАр	534,77
$Q_{\text{НБК}}$	кВАр	400
P_{p3}	кВт	518,09
Q_{p3}	кВАр	134,77
S_{p3}	кВА	535,34
ΔP_T	кВт	10,71
ΔQ_T	кВАр	53,53
P_{p4}	кВт	528,80
Q_{p4}	кВАр	188,31
S_{p4}	кВА	561,33

2.8. Проектування мережі живлення підприємства

Для живлення знижувальної підстанції пакувального підприємства застосовано два кабелі напругою 10 кВ довжиною 1,8 км, вибраних з [8]:

$$j_e = 1,9 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2};$$

$$I_{\text{норм}} = \frac{561,33}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 16,2 \text{ А}; I_{\text{п ав}} = \frac{561,3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 31,41 \text{ А};$$

$$F_e = \frac{16,2}{1,9} = 8,53 \text{ мм}^2; \text{ розглядаємо перерізи від } 35 \text{ мм}^2 \text{ включно.}$$

Таблиця 2.12 – Вибір кабельних ліній високої напруги

F, мм ²	I _{доп} , А	I' _{доп} , А	r ₀ , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	x ₀ , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$\Delta U_{\text{норм}}$, В	$\Delta U_{\text{норм}}$, %	$\Delta U_{\text{П АВ}}$, %
35	143	147,29	0,641	0,09	28,63	0,29	0,57
50	169	174,1	0,58	0,086	26,05	0,26	0,52
70	211	217,3	0,45	0,084	20,73	0,21	0,41
95	260	267,8	0,31	0,083	15,04	0,15	0,30

Таблиця 2.13 – Техніко-економічне порівняння кабелів різного перерізу

F, мм ²	K _{зл}	$\Delta P_{\text{н}}$, кВт	$\Delta P_{\text{д}}$, кВт	C _е , тис. грн.	K, тис. грн.	З, тис. грн.
35	0,110	135,17	1,636	7,164	1738,8	224,514
50	0,093	170,82	1,480	6,483	2131,2	272,883
70	0,075	206,59	1,149	5,030	2217,6	282,230
95	0,061	216,10	0,791	3,465	2588,4	327,015

$$З_{\text{min}} \Rightarrow 2 \times \text{АПВВ} - 10 - 3 \times 35.$$

2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі

Відповідно до вимог [1] обираємо схему внутрішньозаводського електропостачання: радіально отримують живлення ВРП [9] та силові щити [10] виробничих цехів пакувального виробництва; живлення щита [10], встановленого в будівлі господарського корпусу, виконане магістрально.

Низьковольтні кабелі, якими виконана схема, обрано з [11].

Таблиця 2.14 – Вибір розподільних пристроїв 0,4 кВ

Назва РП	$S_{p\sum}$, кВА	$I_{п.ав}$, А	Тип розподільного пристрою	$I_{доп.РП}$, А	$n_{прийм}$	$n_{мод}$
ВРП1	178,21	270,76	ЕУ – ВРП2 – 1 – 400 У4	400	4	4
РП2.1	73,11	111,08	ПР11 – 3079 – 51 У3	250	12	14
РП2.2	52,86	80,32	ПР11 – 3034 – 21 У3	100	14	14
ВРП3	233,24	354,37	ЕУ – ВРП2 – 1 – 400 У4	400	4	4
ВРП4	169,39	257,37	ЕУ – ВРП2 – 1 – 400 У4	400	4	4
ВРП5	171,61	260,73	ЕУ – ВРП2 – 1 – 400 У4	400	4	4
РП6	59,51	90,42	ПР11 – 3034 – 21 У3	100	14	14

Таблиця 2.15 – Вибір кабелів 0,4 кВ

Назва КЛ	n	$S_{p\sum}$, кВА	$I_{норм}$, А	$I_{п.ав}$, А	Переріз кабелю	$I_{доп}$, А	$I'_{доп}$, А	$I''_{доп}$, А	l , км	r_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	x_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$\Delta U_{норм}$, %	$\Delta U_{п.ав}$, %
ТП – ВРП1	2	178,21	135,38	270,76	4×185	260	268	281	0,098	0,18	0,06	1,09	2,18
ТП – РП2.1	2	73,11	55,54	111,08	4×50	110	113	119	0,107	0,67	0,06	1,55	3,09
ТП – РП2.2	2	52,86	40,16	80,32	5×25	75	77	81	0,156	1,33	0,07	3,15	6,30
ТП – ВРП3	2	233,24	177,19	354,37	4×240	490	505	529	0,061	0,125	0,047	0,63	1,27
ТП – ВРП4	2	169,39	128,68	257,37	4×185	260	268	281	0,059	0,18	0,06	0,63	1,25
ТП – ВРП5	2	171,61	130,37	260,73	4×185	260	268	281	0,114	0,18	0,06	1,22	2,43
ВРП3 – РП7	1	59,51	90,42	90,42	5×35	95	98	103	0,034	0,95	0,06	1,12	1,12

2.10. Розрахунок струмів короткого замикання

Режим короткого замикання (КЗ) є найнебезпечнішим аварійним режимом. Видами КЗ є міжфазне (фазні провідники замикаються між собою) та однофазне (замикання фазного провідника на землю). Причинами КЗ є пошкодження ізоляції жил кабелів, обмоток трансформаторів (міжвиткове КЗ). Внаслідок КЗ відбувається різкий спад напруги та зростання струму в десятки разів. В результаті може бути пошкоджене обладнання, виникнути пожежа. Розрахуємо струми КЗ для подальшого вибору та перевірки елементів мережі (електричних апаратів комутації та захисту, кабелів).

					ЛНТУ.971100.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Застосовуємо відносно наближене зведення :

$$S_6 = 100 \text{ МВА}; U_6 = 10,5 \text{ кВ}.$$

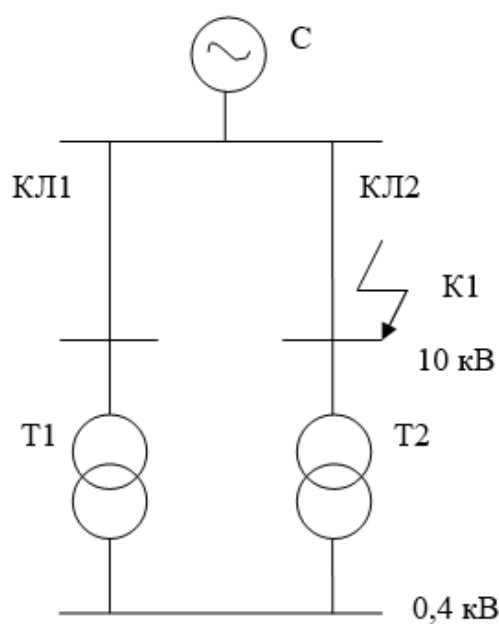


Рисунок 2.1 – Електрична схема короткозамкненого кола

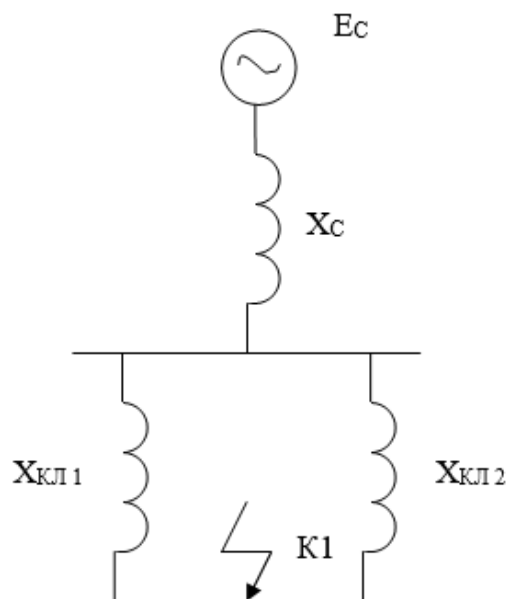


Рисунок 2.2 – Заступна схема короткозамкненого кола

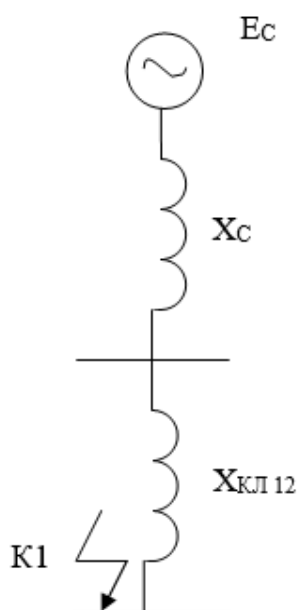


Рисунок 2.3 – Схема короткозамкненого кола після об'єднання паралельних ліній

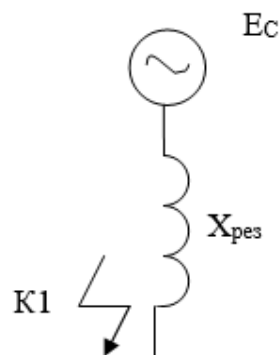


Рисунок 2.4 – Спрощена схема короткозамкненого кола

Таблиця 2.16 – Розрахунок струмів КЗ. Перевірка вибраних КЛ за термічною стійкістю

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
$S_{KЗ}$	МВА	45,5
$\dot{X}_{C*}$	—	2,198
$\dot{R}_{КЛ1*}, \dot{R}_{КЛ2*}$	—	1,047
$\dot{X}_{КЛ1*}, \dot{X}_{КЛ2*}$	—	0,147
$\dot{R}_{КЛ12*}$	—	0,523
$\dot{X}_{КЛ12*}$	—	0,073
$\dot{R}_{рез*}$	—	0,523
$\dot{X}_{рез*}$	—	2,271
$\dot{Z}_{рез*}$	—	2,331
I_{ϕ}	кА	5,50
I_{n0}	кА	2,359
k_y	—	1,42
i_y	кА	4,738
K_T	$\frac{A \cdot c^{1/2}}{мм^2}$	125
t_n	с	0,25
F_{min}	мм ²	9,4
Тип та переріз кабелю з п.2.8	—	АПВ – 10 – 3 × 35
B_K	кА ² · с	1,39

2.11. Вибір обладнання

2.11.1. Вибір комплектних розподільчих пристроїв

Комплектні розподільні пристрої (КРП) являють собою модулі з встановленими в них апаратами для комутації, захисту, автоматики, вимірювання. КРП-10 кВ знижувальної підстанції вибрано з [14]; КРП-0,4 кВ – з [15].

Таблиця 2.17 – Технічні характеристики комплектних розподільних пристроїв трансформаторної підстанції

Призначення	Обладнання	Кількість	Каталожний номер
Комірка КСО 399 10 кВ			
Ввідні	Комірка КСО 399-03106 УЗ з вимикачем навантаження ВН-РА 030-10-630 УЗ	2	03
Комутація і захист силових трансформаторів	Комірка КСО 399-04061 УЗ з вимикачем навантаження ВН-РА 03П-10-630 УЗ і запобіжником	2	04
Секційна	Комірка КСО 399-01106 УЗ роз'єднувачами РВ030-10-630 УЗ	1	01
Розподільчі панелі ЩО 99 0,4 кВ			
Ввідні	ЩО 99-2101 УЗ	2	–
Лінійні	ЩО 99-2308 УЗ	4	–
Секційна	ЩО 99-2208 УЗ	1	–

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$16,2 < 630 \text{ А};$$

$$32,41 < 630 \text{ А};$$

$$4,738 < 51 \text{ кА};$$

$$1,39 < 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.11.2. Вибір роз'єднувачів

Роз'єднувачі обрано з[16]:

$$\text{РВ030} - 10 - 630$$

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$16,2 < 630 \text{ А};$$

$$32,41 < 630 \text{ А};$$

$$4,738 < 41 \text{ кА};$$

$$1,39 < 1024 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.11.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників

Вимикачі навантаження та запобіжники обрано з[17, 18]:

Ввідні комірки
ВН – РА 030 – 10 – 630 УЗ:

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$16,2 < 630 \text{ А};$$

$$32,41 < 630 \text{ А};$$

$$2,359 < 31,5 \text{ кА};$$

$$4,738 < 80 \text{ кА};$$

$$1,39 < 992,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

Трансформаторні комірки
ВН – РА 03П – 10 – 630 УЗ:

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$16,2 < 630 \text{ А};$$

$$32,41 < 630 \text{ А};$$

$$2,359 < 31,5 \text{ кА};$$

$$4,738 < 80 \text{ кА};$$

$$1,39 < 992,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

ПКТ – 10 – 40 – 12,5 УЗ:

$$32,41 < 40 \text{ А};$$

$$2,359 < 12,5 \text{ кА};$$

$$40,86 < 217 \text{ кА},$$

$$S'' = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2,359 = 40,86 \text{ МВА}.$$

2.12. Розрахунок низьковольтної мережі цеху

2.12.1. Вибір схеми електропостачання

Призначенням системи внутрішньоцехового електропостачання цеху пакування в термозбігову плівку є розподілення електроенергії від шин двох силових щитів 2.1, 2.2 до силових струмоприймачів, а також від щита освітлення – до однофазних груп світильників.

Застосовано радіальну схему електропостачання (забезпечує надійність живлення приймачів II категорії). До складу мережі входять кабельні лінії на напругу 400 В до трифазних установок та проводи на напругу 230 В – до однофазних освітлювальних [19].

Таблиця 2.18 – Вибір кабелів внутрішньоцехової мережі

Назва електроприймача	P _н , кВт	cos φ	I, А	F, мм ²	I _{тр.доп} , А	Кабель
Щит 2.1						
Термозбіжна машина тунельного типу	13	0,70	28,21	4	34	ВВГнгд-5×4
Термотоннель з ручним запайщиком	15	0,67	33,88	4	34	ВВГнгд-5×4
Етикетувальна машина	5	0,70	10,91	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Автомат для виготовлення упаковок	7,5	0,71	15,95	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Шафа витяжна	3	0,80	5,70	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Щит 2.2						
Автомат для видування ПЕТ пляшки	4	0,71	8,55	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Машина фасувально-закупорювальна	6	0,70	12,96	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Автомат пакувальний	4,25	0,70	9,27	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Машина для візуального контролю пляшок	1,25	0,71	2,66	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Термотоннель автомат	9	0,70	19,53	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Пристрій транспортний для переміщення пляшок	10	0,71	21,38	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Конвеєр стрічковий	11	0,71	23,52	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Шафа витяжна	3	0,80	5,72	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5

Таблиця 2.19 – Перевірка кабелів за втратами напруги

Назва електроприймача	n	$r_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$x_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	l, км	$\Delta U\%$	Кабель
	Щит 2.1					
Термозбіжна машина тунельного типу ТТ-15-ПАП (М)	3	5	0,09	0,012	0,550	ВВГнгд-5×4
		5	0,09	0,024	1,100	ВВГнгд-5×4
		5	0,09	0,036	1,650	ВВГнгд-5×4
Термотоннель з ручним запайщиком ТТ-15-Р	3	5	0,09	0,011	0,583	ВВГнгд-5×4
		5	0,09	0,025	1,324	ВВГнгд-5×4
		5	0,09	0,037	1,960	ВВГнгд-5×4
Етикетувальна машина ЕКП-1	2	8	0,09	0,012	0,336	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,026	0,729	ВВГнгд-5×2,5
Автомат для виготовлення упаковок АДП-1	2	8	0,09	0,003	0,126	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,015	0,630	ВВГнгд-5×2,5
Шафа витяжна	2	8	0,09	0,009	0,151	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,029	0,486	ВВГнгд-5×2,5
	Щит 2.2					
Автомат для видування ПЕТ пляшки	2	8	0,09	0,006	0,134	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,012	0,269	ВВГнгд-5×2,5
Машина фасувально-закупорювальна	2	8	0,09	0,004	0,134	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,013	0,437	ВВГнгд-5×2,5
Автомат пакувальний	2	8	0,09	0,024	0,572	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,022	0,524	ВВГнгд-5×2,5
Машина для візуального контролю пляшок	2	8	0,09	0,027	0,189	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,024	0,168	ВВГнгд-5×2,5
Термотоннель автомат	2	8	0,09	0,034	1,715	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,030	1,513	ВВГнгд-5×2,5
Пристрій транспортний для переміщення пляшок	1	8	0,09	0,009	0,504	ВВГнгд-5×2,5
Конвеєр стрічковий	1	8	0,09	0,003	0,185	ВВГнгд-5×2,5
Шафа витяжна	2	8	0,09	0,026	0,436	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,018	0,302	ВВГнгд-5×2,5

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

Застосовуємо абсолютне наближене зведення :

$$U_{\phi} = 0,4 \text{ кВ}; U_{c10} = 10,5 \text{ кВ}.$$

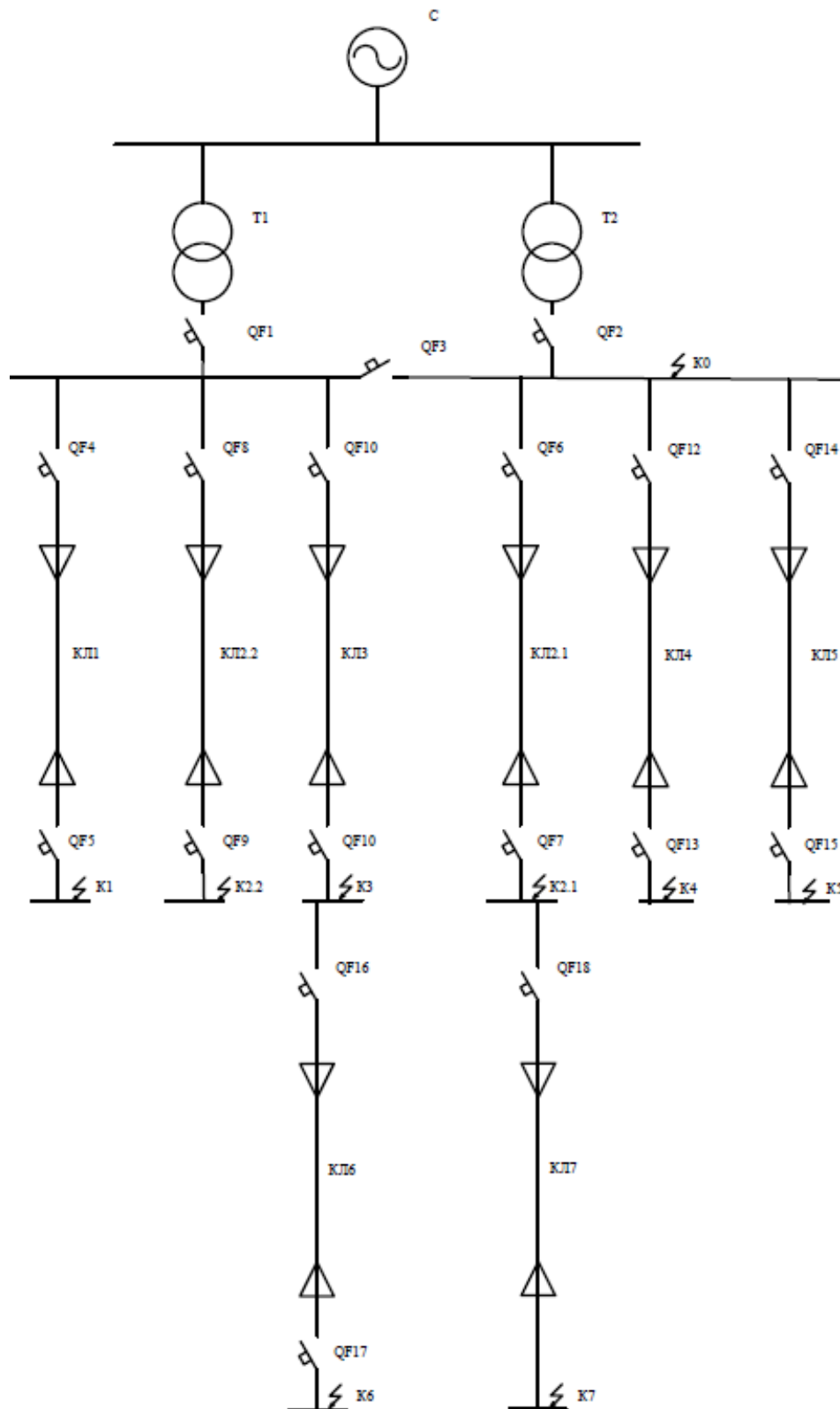


Рисунок 2.5 – Схема короткозамкнутого кола НВ мережі

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛНТУ.971100.000 ПЗ

Арк.

25

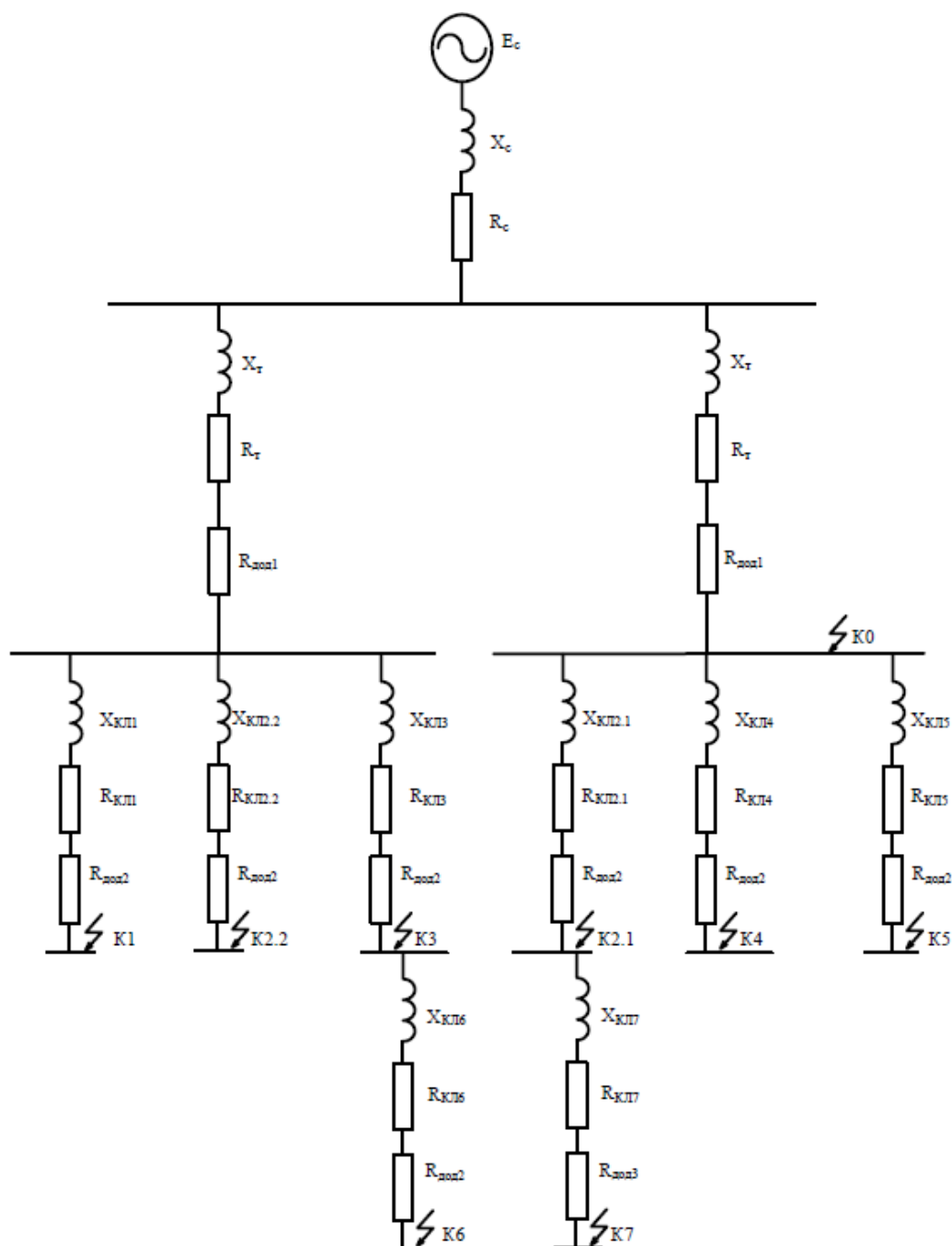


Рисунок 2.6 – Заступна схема НВ мережі

Таблиця 2.20 – Вихідні дані для розрахунку струмів КЗ в мережі 0,4 кВ

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
U_6	кВ	0,4
$I_{к10}$	кА	2,359
U_{c10}	кВ	10,5
$S_{ном.Т}$	кВА	400
ΔP_K	кВт	5,6
u_K	%	6

Таблиця 2.21 – Визначення струмів КЗ в точці К0

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
R_c	Ом	0,577
X_c	Ом	2,570
$\dot{R}_c$	МОм	0,837
$\dot{X}_c$	МОм	3,729
$\dot{R}_T$	МОм	2,800
$\dot{X}_T$	МОм	12,000
$\dot{R}_{рез0}$	МОм	18,637
$\dot{X}_{рез0}$	МОм	15,729
$Z_{рез0}$	МОм	24,388
I_K	кА	9,470
k_y	–	1,05
i_y	кА	14,062

Таблиця 2.22 – Визначення опорів кабельних ліній

Назва кабельної лінії	l , км	r_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	R , МОм	x_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	X , МОм
ТП – ВРП1	0,081	0,125	10,150	0,047	3,816
ТП – РП2.1	0,024	0,18	4,320	0,06	1,440
ТП – РП2.2	0,052	0,125	6,500	0,047	2,444
ТП – ВРП3	0,046	1,33	61,712	0,07	3,248
ТП – ВРП4	0,047	0,67	31,624	0,06	2,832
ТП – ВРП5	0,010	2,08	21,632	0,07	0,728
ВРП3 – РП7	0,042	0,125	5,250	0,047	1,974
РП2.1 – Рmax	0,021	3,33	69,930	0,09	1,890

Таблиця 2.23 – Визначення струмів КЗ в НВ мережі

Точка КЗ	$R_{дод}$, МОм	$\dot{R}_{рез}$, МОм	$\dot{X}_{рез}$, МОм	$\dot{Z}_{рез}$, МОм	I_K , кА	k_y	i_y , кА	F_{min} , мм ²	Вибраний переріз
К1	20	41,28	21,61	46,59	4,957	1	7,010	18,4	4×185
К2.1	25	95,19	22,14	97,73	2,363	1	3,342	8,8	4×50
К2.2	25	230,59	26,62	232,12	0,995	1	1,407	3,7	5×25
К3	20	31,29	18,61	36,40	6,344	1	8,972	23,5	4×240
К4	20	34,29	19,28	39,34	5,870	1	8,302	21,7	4×185
К5	20	44,09	22,55	49,52	4,664	1	6,596	17,3	4×185
К6	20	68,59	20,65	71,63	3,224	1	4,560	11,9	5×35
К7	30	225,19	24,30	226,50	1,020	1	1,442	3,8	5×4

Всі перевірки виконуються.

					ЛНТУ.971100.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.12.3. Вибір трансформаторів струму

Трансформатори струму, обрані з [21], мають таке вторинне навантаження :
лічильники електричної енергії комерційного та технічного обліку
НІК 2307 АПЗТ, вибрані з [20];

амперметри АСКО – УКРЕМ 400А.

$$I_{\text{норм}} = \frac{879,38}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 2} = 668,04 \text{ А}; \quad I_{\text{max}} = \frac{897,38}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1336,08 \text{ А}.$$

Вторинне навантаження трансформаторів струму :

$$r_k = 0,05 \text{ Ом}; \text{ тоді згідно з [10]}; S_{\text{прил}} = 10 \text{ ВА};$$

$$r_{\text{прил}} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{пр}} = \frac{0,0283 \cdot 4}{2,5} = 0,045 \text{ Ом};$$

$$z_2 \approx r_2 = 0,4 + 0,045 + 0,05 = 0,495 \text{ Ом}.$$

Комерційний облік :

$$T-0.66 \text{ 1500/5A 0,5}$$

$$0,38 < 0,66 \text{ кВ};$$

$$668,04 < 1500 \text{ А};$$

$$1336,08 < 1500 \text{ А};$$

$$14,062 < 51 \text{ кА};$$

$$22,42 < 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$0,495 < 5,0 \text{ Ом}.$$

Технічний облік :

$$T - 0,66 \text{ 400 / 5}$$

$$0,38 < 0,66 \text{ кВ};$$

$$354,37 < 400 \text{ А};$$

$$8,972 < 51 \text{ кА};$$

$$10,06 < 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

					ЛНТУ.971100.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$0,495 < 5,0 \text{ Ом.}$$

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів

Автоматичні вимикачі вибрано з [22].

Таблиця 2.24 – Вибір автоматичних вимикачів

Номер вимикача	Тип вимикача	Каталожні дані			Розрахункові дані			
		$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	$I_{\text{ном розщ}}, \text{А}$	$I_{\text{гр вимк}}, \text{кА}$	$U_{\text{уст}}, \text{кВ}$	$I_{\text{норм}}, \text{А}$	$I_{\text{п.ав}}, \text{А}$	$I_{\text{к}}, \text{А}$
QF1	ВА 88 – 43	0,4	1600	40	0,4	668,04	1336,08	9,470
QF2	ВА 88 – 43	0,4	1600	40	0,4	668,04	1336,08	9,470
QF3	ВА 88 – 43	0,4	1600	40	0,4	668,04	1336,08	9,470
QF4	ВА 88 – 37	0,4	315	35	0,4	135,38	270,76	4,957
QF5	ВА 88 – 37	0,4	315	35	0,4	135,38	270,76	4,957
QF6	ВА 88 – 33	0,4	125	35	0,4	55,54	111,08	2,363
QF7	ВА 88 – 33	0,4	125	35	0,4	55,54	111,08	2,363
QF8	ВА 88 – 33	0,4	100	35	0,4	40,16	80,32	0,995
QF9	ВА 88 – 33	0,4	100	35	0,4	40,16	80,32	0,99
QF10	ВА 88 – 40	0,4	400	35	0,4	177,19	354,37	6,344
QF11	ВА 88 – 40	0,4	400	35	0,4	177,19	354,37	6,344
QF12	ВА 88 – 37	0,4	315	35	0,4	128,68	257,37	5,870
QF13	ВА 88 – 37	0,4	315	35	0,4	128,68	257,37	5,870
QF14	ВА 88 – 37	0,4	315	35	0,4	130,37	260,73	4,664
QF15	ВА 88 – 37	0,4	315	35	0,4	130,37	260,73	4,664
QF16	ВА 88 – 33	0,4	100	35	0,4	90,42	90,42	3,224
QF17	ВА 88 – 33	0,4	100	35	0,4	90,42	90,42	3,224
QF18	ВА 88 – 32	0,4	40	25	0,4	33,88	33,88	1,020

2.12.5. Вибір рубильників

Рубильники обрано з [23]: РЕ 19 – 43 1600 А;

$$0,38 < 0,66 \text{ кВ;}$$

$$668,04 < 1500 \text{ А; } 1336,08 < 1500 \text{ А;}$$

$$14,062 < 50 \text{ кА; } 22,44 < 900 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

					ЛНТУ.971100.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

Для забезпечення повтрообміну в приміщенні цеху пакування в термозбігову плівку передбачено витяжні шафи, оснащені радіальними вентиляторами. Ці установки забезпечують приплив свіжого та видалення відпацьованого повітря, створюють необхідні технічні параметри повітря для технологічних установок та ліній, встановлених в цеху.

Вихідні дані :

$$L = 0,65 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}; p = 2650 \text{ Па}; \omega = 300 \text{ с}^{-1}; p_m = 2800 - 1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L^2.$$

Таблиця 3.1 – Розрахунок аеродинамічної схеми

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
$n_{\text{пит}}$	—	35
D_0	м	0,218
D_1	м	0,218
D_2	м	0,377
B	м	0,193
b	м	0,065
A	м	0,145
Z	шт.	11,8
$Z_{\text{прийн}}$	шт.	12
β_1	—	60
β_2	—	150
a	м	0,04

Вибираємо з [24] радіальний вентилятор Ц7 – 19 №3:

$$p_v = 2950 - 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot L^2.$$

					ЛНТУ.971100.000 ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Пенцак Б.В.			Електропостачання пакувального виробництва встановленою потужністю 1100 кВт. Пояснювальна записка.			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Вітер Д.В.							30	3	
								ФАБЕ, гр.ЕЕЗ—41			
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.									
Затверд.		Волинець В.І.									

Таблиця 3.2 – Побудова характеристик мережі та вентилятора

$L, \frac{м^3}{год.}$	$p_m, Па$	$p_n, Па$
0	2800	2950
1000	2788,5	2915
2000	2754	2810
3000	2696,5	2635
4000	2616	2390
5000	2512,5	2075

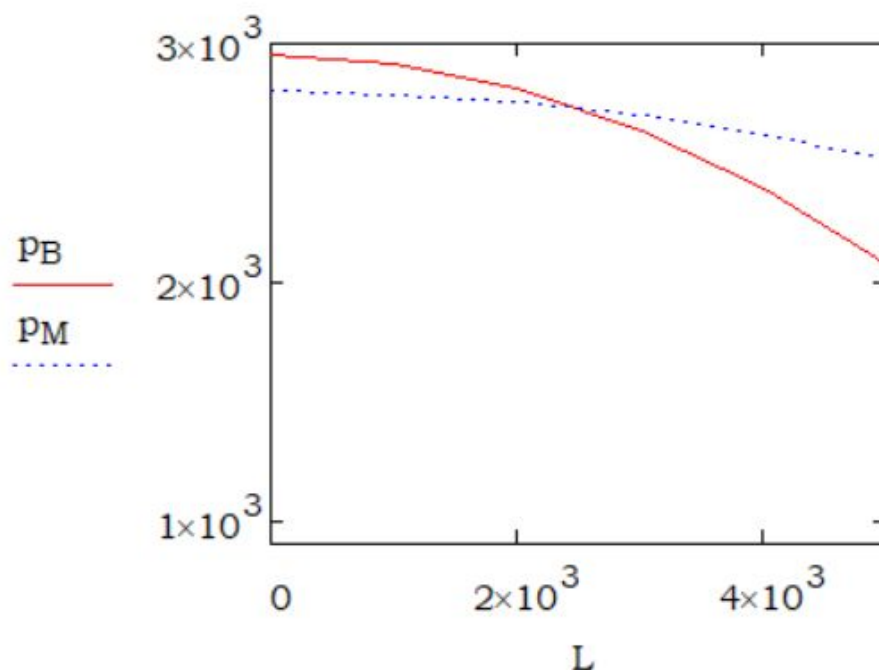


Рисунок 3.1 – Визначення робочої точки вентилятора

$$L_p = 2526; p_p = 2727.$$

Таблиця 3.3 – Вибір електроприводу вентилятора

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
k_z	—	1,2
η	—	0,8
P_v	кВт	2,87
Тип двигуна	—	A2
$P_{дв}$	кВт	3
n	об / хв	3000
$\eta_{дв}$	—	0,835
$\cos \varphi_{дв}$	—	0,84

Для розрахунку втрат напруги в мережі живлення витяжних шаф в таблиці 3.4 введено такі позначення: Л1 – кабельна лінія від знижувальної підстанції до силового щита цеху 2.1; Л2 – кабельна лінія від щита 2.1 до більш віддаленого вентилятора.

Таблиця 3.4 – Вибір мережі живлення вентилятора

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
$I_{\text{дв}}$	А	6,62
Тип кабелю	—	ВВГнгд-4×2,5
r_0	Ом / км	8
x_0	Ом / км	0,09
l	км	0,0296
$\Delta U_{\text{Л3}}$	%	0,57
$\Delta U_{\text{Л2}}$	%	3,09
$\Delta U_{\text{Л1}}$	%	3,23
$\Delta U_{\text{Т}}$	%	6,89
ΔU	%	10
$\Delta U_{\text{доп}}$	%	6,62

РОЗДІЛ 4

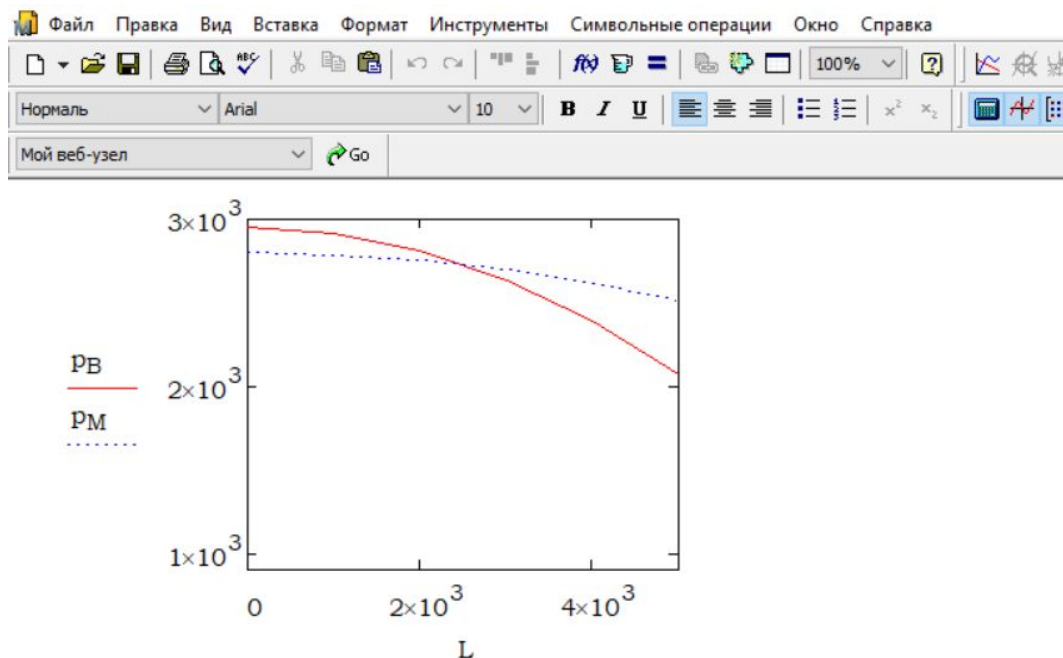
САПР

Розрахунки системи електропостачання вентиляторів автоматизовані в середовищах Mathcad15 та Microsoft Excel 2003.

Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Аcrobat Что вы хотите сделать?											
Вставить		Times New Ro 12 A A		Перенести текст		Общий		Условное форматирование		Стили	
буфер обмена		Шрифт		Выравнивание		Число		Стили		Стили	
H52											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Вихідні дані										
2	L, м3/с	0,65									
3	L, м3/год	2340									
4	p, Па	2650									
5	ω, об/хв	300									
6											
7	Побудова аеродинамічної схеми		Вибрані коефіцієнти								
8	n _{пит}	35		n.пит	k1	k2	k3	k4	β1	β2	η
9	D ₀	0,218		20...55	1,65	60	1,2	90	60	150	0,6
10	D ₁	0,218		40...80	1,75	105	2	125			0,7
11	D ₂	0,377									
12	B	0,193									
13	b	0,065									
14	A	0,145									
15	Z	11,8									
16	Z _{прийн}	12									
17	β ₁	60									
18	β ₂	150									
19	a	0,04									

Рисунок 4.1 – Розрахунок аеродинамічної схеми вентилятора

					ЛНТУ.971100.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання пакувального виробництва встановленою потужністю 1100 кВт. Пояснювальна записка.			Літ.	Арк.	Аркушів		
Розроб.	Пенцак Б.В.									33	3	
Перевір.	Вітер Д.В.							ФАБЕ, гр.ЕЕЗ–41				
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.											
Затверд.	Волинець В.І.											



Координати робочої точки:

$$L_{\text{роб}} = 2526.456$$

$$|L_{\text{роб}}| = 2526.456$$

$$P_{\text{роб}} = 2726.596$$

$$|P_{\text{роб}}| = 2726.596$$

Перевіримо вірність вибору насосів за умовами:

$$\begin{aligned} \text{Умова1} &:= \begin{cases} 1 & \text{if } L_{\text{роб}} \geq L_{31} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} & \text{Умова2} &:= \begin{cases} 1 & \text{if } P_{\text{роб}} \geq P \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\ \text{Умова1} &= 1 & \text{Умова2} &= 1 \end{aligned}$$

Рисунок 4.2 – Визначення робочої точки та перевірка умов роботи вентилятора

Файл	Главная	Вставка	Разметка страницы	Формулы	Данные	Рецензирование	Вид
Вставить Times New Ro 12 A⁺ A⁻ Ж К Ч Шрифт Выравнивание							
Н52 ✕ ✓ fx							
	A	B	C	D	E	F	
27	Вибір двигуна			Двигуни асинхронні серії А2			
28	k_z	1,2		Рдв, кВт	$\eta_{\text{дв}}$	$\cos\phi_{\text{дв}}$	
29	η	0,8		1,5	0,805	0,88	
30	P_v	2,87		2	0,825	0,83	
31	Тип двигуна	A2		3	0,835	0,84	
32	$P_{\text{дв}}$	3		4	0,86	0,85	
33	n	3000		5,5	0,87	0,86	
34	$\eta_{\text{дв}}$	0,835		7,5	0,885	0,87	
35	$\cos\phi_{\text{дв}}$	0,84		10	0,885	0,87	
36				13	0,885	0,89	

Рисунок 4.3 – Вибір електроприводу

Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Аcrobat Что вы хотите сделать?										
Вставить		Шрифт		Выравнивание		Число		Стили		
H52										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
37	Вибір живлячої лінії			Параметри кабелю ВВГнгд-0,4					Вибрані трансформатори	
38	$I_{дв}$	6,62		Переріз	Ітр.доп	го	хо		Тип	ТМ-400
39	Тип кабелю	ВВГнгд-4×2,5		2,5	19	8	0,09		St	400
40	r_0	8		4	27	5	0,09		Pк	5,6
41	x_0	0,09		6	32	3,33	0,09		uk	6
42	l	0,0296		10	42	2	0,07		ит.а	1,400
43	$\Delta U_{л2}$	0,57		16	60	1,25	0,07		ит.р	5,834
44	$\Delta U_{л1}$	3,09		25	75	0,8	0,07			
45	$\Delta U_{тр}$	3,23								
46	ΔU	6,89								
47	$\Delta U_{вон}$	10								

Рисунок 4.4 – Вибір мережі живлення

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Заземлення електроустановок цеху пакування в термозбігову плівку, виконане з метою забезпечення електробезпеки, називають захисним. Згідно з [1] захисному заземленню підлягають усі електроустановки напругою 400 В змінного струму. Призначення заземлення – захист від напруги на корпусі електроустаткування. Розрахунки виконано згідно з [25]:

$$l = (48 + 36) \cdot 2 = 168 \text{ м};$$

$$R_{\Gamma} = \frac{180}{2 \cdot 3,14 \cdot 168} \cdot \ln \frac{168^2}{0,4 \cdot 0,04} = 2,6 \text{ Ом};$$

$$R_H = 10 \text{ Ом};$$

$$R_B = \frac{2,6 \cdot 10}{2,6 + 10} = 2,05 \text{ Ом};$$

$$R_{BO} = \frac{120}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,016} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 0,7 + 1}{4 \cdot 0,7 - 1} \right) = 55 \text{ Ом};$$

$$\eta_B = 0,65; \eta_{\Gamma} = 0,3;$$

$$n_B = \frac{55}{2,05 \cdot 0,65} = 41,3 \text{ шт} \Rightarrow n_B = 42 \text{ шт};$$

$$R_{шт} = \frac{55 \cdot 2,6}{0,3 \cdot 55 + 0,65 \cdot 42 \cdot 2,6} = 1,63 \text{ Ом} < 10 \text{ Ом}.$$

					ЛНТУ.971100.000 ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання пакувального виробництва встановленою потужністю 1100 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.		Арк.		Аркушів	
Розроб.	Пенцак Б.В.							36		1	
Перевір.	Вітер Д.В.										
Н. контр.	Вашелюк Ю.І.										
Затверд.	Волинець В.І.					ФАБЕ, гр.ЕЕЗ–41					

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Кваліфікаційний проєкт присвячений розробленню електропостачальної системи пакувального виробництва.

В проєкті виконано детальний порівневий розрахунок електричних навантажень згідно з ієрархічним підходом.

Надійність електропостачання споживачів II категорії забезпечена наявністю резервного живлення, для ввімкнення якого знижувальну підстанцію оснащено перемичками на рівні напруги 10 та 0,4 кВ.

Вибір силових трансформаторів та пристроїв низьковольтної компенсації реактивної потужності, а також перерізів високовольтних кабелів є економічно обґрунтованим.

Вибір схем електропостачання відповідає вимогам [1] щодо надійності живлення.

Застосовано централізовану компенсацію реактивної потужності за допомогою двох конденсаторних батарей, приєднаних до збірних шин 0,4 кВ та оснащених пристроями автоматичного регулювання рівня компенсації. Цей захід дав можливість підвищення коефіцієнту потужності підприємства, зниження плати за реактивні перетікання, зменшення навантаження електричних мереж та зниження втрат напруги.

Для покращення якості електричної енергії також застосовано пристрої перемикачів без збудження в первинних обмотках трансформаторів знижувальної підстанції.

Виконано детальний розрахунок основних геометричних розмірів вентиляторів, що застосовані у витяжних шафах цеху пакування у термозбігову плівку, визначення робочої точки вентилятора, вибір електроприводу та мережі живлення.

Розроблено заходи щодо безпечної експлуатації електроустаткування пакувального підприємства.

					ЛНТУ.971100.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Правила улаштування електроустановок : видання офіційне. Київ : Міненерговугілля України, 2017. 620 с.
2. Мілих В.І., Павленко Т.П. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей : Харків : ФОП Панов А. М., 2016. 272 с.
3. Давиденко Л.В., Коменда Н.В, Давиденко В.А., Євсюк М.М. Електропостачання промислових об'єктів : практикум : навчальний посібник. Луцьк : ВІП ЛНТУ, 2022. 244с.
4. Промислові LED світильники : каталог. URL : https://ledmir.com.ua/industrial_led_lights
5. Трансформатори силові типу ТМ. URL : http://cabex.com.ua/ru/produkcija/transformatori/transformatori_silovie_tipa_tm.html
6. Установки компенсації реактивної потужності ККУ-0,4. URL : <https://avelectric.com.ua/ua/g77561771-ustanovki-kompensatsii-reaktivnoj>
7. Електричні системи та мережі : методичні вказівки до виконання курсової роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форм навчання ; уклад. І.В. Грицюк, Ю.В. Грицюк. Луцьк : Луцький НТУ, 2021. 72с.
8. Силові кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену : каталог. URL : <https://amperia.com.ua/ua/g32628816-silovye-kabeli-izolyatsiej>.
9. Пункт розподільний ЕУ-ПР11 : каталог. URL : <https://www.enersys.in.ua/vyrobnystvo/punkt-rozpodilnyi.html>.

					ЛНТУ.971100.000 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 10.Ввідно-розподільний пристрій : каталог. URL :
<https://www.enersys.in.ua/vyrobnystvo/vvidno-rozpodilnyi-prystrii.html>.
- 11.Кабелі силові АВВГ, АВВГнг, АВВГнгд : каталог. URL :
<https://europan.ua/ru/produkcija/kabeli-silovi/avvg-avvgng-avvgngd/>.
- 12.Грицюк Ю.В. Електрична частина станцій і підстанцій. Методичні вказівки до практичних занять. – Луцьк: ЛНТУ, 2015. – 96 с.
13. Електрична частина станцій і підстанцій : методичні вказівки до виконання курсового проекту ; уклад. Ю.В. Грицюк. Луцьк : Луцький НТУ, 2014. 84с.
14. Камери збірні одностороннього обслуговування КСО 399 УЗ : каталог. ООО Укрелетрокомплект. URL: <http://uelko.com/kso399.pdf>.
15. Панелі розподільних щитів ЩО 99 УЗ : каталог. ООО Укрелетрокомплект. URL: <https://uelko.com/so99.pdf>.
16. Роз'єднувачі РВ, РВО, РВЗ, РВФЗ, РЛВО : каталог. URL: <http://nvacontact.com/category2/razediniteli-10-kv/>.
17. Вимикач навантаження типу ВН-РА-000 : каталог. ООО Укрелетрокомплект URL: <https://uelko.com/vn-ra.pdf>.
18. Високовольтні запобіжники : каталог. URL: https://www.websor.ru/vjsokovoltnje_predohraniteli.html.
19. Кабелі силові ВВГ, ВВГнг, ВВГнгд : каталог. URL :
<https://europan.ua/ru/produkcija/kabeli-silovi/vvg3-vvg3ng-vvg3ngd-vvg5-vvg5ng-vvg5ngd/>.
20. Лічильники електричної енергії НІК2303 : настанова з експлуатації. Київ, 2016. URL: http://www.nik.net.ua/uploads/RE_2303LE.pdf.
21. Трансформатори струму ТШ-0,66 : каталог. URL: <http://bek-ltd.com.ua/transformatory-toka-t-0-66>.
22. Вимикачі автоматичні серії ВА88 : інструкція з експлуатації. ІЕК. URL:

https://www.iek.ru/partners/infobaza/files/docs/passp_re/bc4722f58a17e3fcaaa9ec94fab2307f.pdf

23. Роз'єднувач РЕ-19 : каталог продукції : Промелектросервіс. URL: <http://www.elektro-portal.com/series/show/razedinitel-re19>.
24. Електроприймачі в системах електроспоживання : навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форм навчання / уклад. І.В. Грицюк, Ю.В. Грицюк, І.О. Бандура. Луцьк : Луцький НТУ, 2021. 262с.
25. Панченко С.В., Акімов О.І., Бабаєв М.М. та ін. Електробезпека : підручник. Харків : УкрДЗТ, 2018. 295 с.

					ЛНТУ.971100.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		