

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет архітектури, будівництва та енергетики

(повне найменування факультету)

Кафедра електричної інженерії

(повна найменування кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАВОДУ ГНУЧКОГО
ПАКУВАННЯ ВСТАНОВЛЕНОЮ ПОТУЖНІСТЮ
1410 кВт

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

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

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ЕЕ-43
Валер Віктор Адамович

(підпис)

Керівник: асистент
Денисовець Тетяна Миколаївна

(підпис)

Кваліфікаційний проєкт
допущено до захисту
«__» _____ 2026 р.
Гарант освітньої програми:
канд. техн. наук, доцент
Волинець Владислав Ігорович

(підпис)

Луцьк – 2026 року

АНОТАЦІЯ

ВАЛЕР В.А. Електропостачання заводу гнучкого пакування встановленою потужністю 1410 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 вступу, п'яти розділів, висновків та пропозицій, переліку джерел посилення та додатків.

Розроблено систему електропостачання заводу гнучкого пакування встановленою потужністю 1410 кВт.

Розробка СЕП підприємства виконувалася на основі електротехнічних розрахунків. А саме, розрахунок електричних навантажень, розрахунок освітлювальних навантажень, розрахунок навантажень на вищих рівнях СЕП, розрахунок кількості та потужності силових трансформаторів, розрахунок потужності конденсаторних батарей, розрахунок струмів короткого замикання, вибір раціональної схеми зовнішнього та внутрішнього електропостачання.

Кваліфікаційний проєкт містить 73 сторінки, 14 рисунків, 23 таблиці, 25 джерел літератури.

Ключові слова: СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ (СЕП), ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ, КАБЕЛЬНА ЛІНІЯ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ, СТРУМ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ, ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ.

ANNOTATION

VALER V. Power supply of flexible packaging plant with an installed capacity of 1410 kW. Manuscript.

Bachelor's qualification project of EP Electrical energetics, electrical engineering and electromechanics specialties 141 Electrical energetics, electrical engineering and electromechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

The bachelor's qualification project consists of an introduction, five sections, conclusions and recommendations, a list of reference sources and appendices.

A power supply system was developed of flexible packaging plant an installed capacity of 1410 kW.

Development of PSS of the enterprise was carried out on the basis of electrotechnical calculations. Namely, the calculation of electrical loads, calculation of lighting loads, calculation of loads at higher levels of PSS, calculation of the number and capacity of power transformers, calculation power of capacitor banks, calculation of short-circuit currents, selection of a rational scheme of external and internal power supply.

Bachelor's qualification project contains 73 pages, 14 figures, 23 tables, 25 sources of literature.

Keywords: POWER SUPPLY SYSTEM (PSS), ELECTRICAL LOADS, CABLE LINES OF ELECTRICITY TRANSMISSION, SHORT-CIRCUIT CURRENT, ELECTRICAL EQUIPMENT.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ	8
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ	11
2.1. Розрахунок силових електричних навантажень	11
2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень	12
2.2.1. Розрахунок освітлювальних навантажень підприємства	12
2.2.2. Розрахунок освітлювальної мережі цеху екструзії	13
2.3. Визначення сумарних навантажень	14
2.4. Розрахунок картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень	15
2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів	15
2.6. Компенсація реактивної потужності	17
2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях	18
2.8. Проєктування зовнішньої мережі живлення підприємства	18
2.9. Проєктування внутрішньої розподільної мережі	20
2.10. Вибір схеми електропостачання цеху екструзії	21
2.11. Розрахунок струмів короткого замикання	23
2.11.1. Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 10 кВ	23
2.11.2. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ	25
2.12. Вибір обладнання	29
2.12.1. Вибір комірок	29
2.12.2. Вибір роз'єднувачів	29
2.12.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників	30
2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів	30
2.12.5. Вибір вимірювальної апаратури	31
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ЗОВНІШНІХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА	33
РОЗДІЛ 4 САПР	35
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	37
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	39
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	40
ДОДАТКИ	43

					<i>ЛНТУ.971063.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Валер В.А.			Електропостачання заводу гнучкого пакування встановленою потужністю 1410 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Денисовець Т.М.				Д	6	73
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.				ФАБЕ, гр. ЕЕ-43		
Затвердив		Волинець В.І.						

ВСТУП

Сучасний стан розвитку пакувальної індустрії характеризується впровадженням високоефективних технологій виробництва гнучких матеріалів, що потребує відповідного рівня енергетичного забезпечення. Заводи з виготовлення гнучкого пакування належать до об'єктів із безперервним циклом виробництва, де використання складних екструзійних ліній та багатоколірних друкарських машин висуває підвищені вимоги до надійності та якості електричної енергії. Актуальність проєктування системи електропостачання такого підприємства зумовлена необхідністю створення гнучкої та економічно доцільної енергосистеми, здатної мінімізувати ризики виробничого браку та простоїв обладнання внаслідок нестабільності мережі.

Метою кваліфікаційного проєкту є комплексна розробка системи електропостачання, яка поєднує в собі технічну досконалість та енергоефективність. У межах проєкту виконується детальний аналіз та розрахунок електричних навантажень усіх груп споживачів, на основі яких обґрунтовується вибір потужності та кількості силових трансформаторів. Особлива увага приділяється побудові раціональних схем живлення, розрахунку струмів короткого замикання та підбору комутаційної апаратури. Важливою складовою частиною є впровадження заходів із компенсації реактивної потужності для зниження втрат енергії та розробка системи захисного занулення для гарантування безпеки персоналу. Підсумкові технічні рішення спрямовані на створення стабільного енергетичного середовища, що відповідає сучасним нормативним стандартам та вимогам енергозбереження.

					<i>ЛНТУ.971063.000 ПЗ</i>	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

Завод гнучкого пакування має такі основні виробничі цехи як цех екструзії, цех ламінації, цех виготовлення пакетів та цех друку. На території заводу також знаходяться котельня, офіс, склад, прохідна.

На рисунку 1.1 зображено генеральний план проєктованого підприємства.

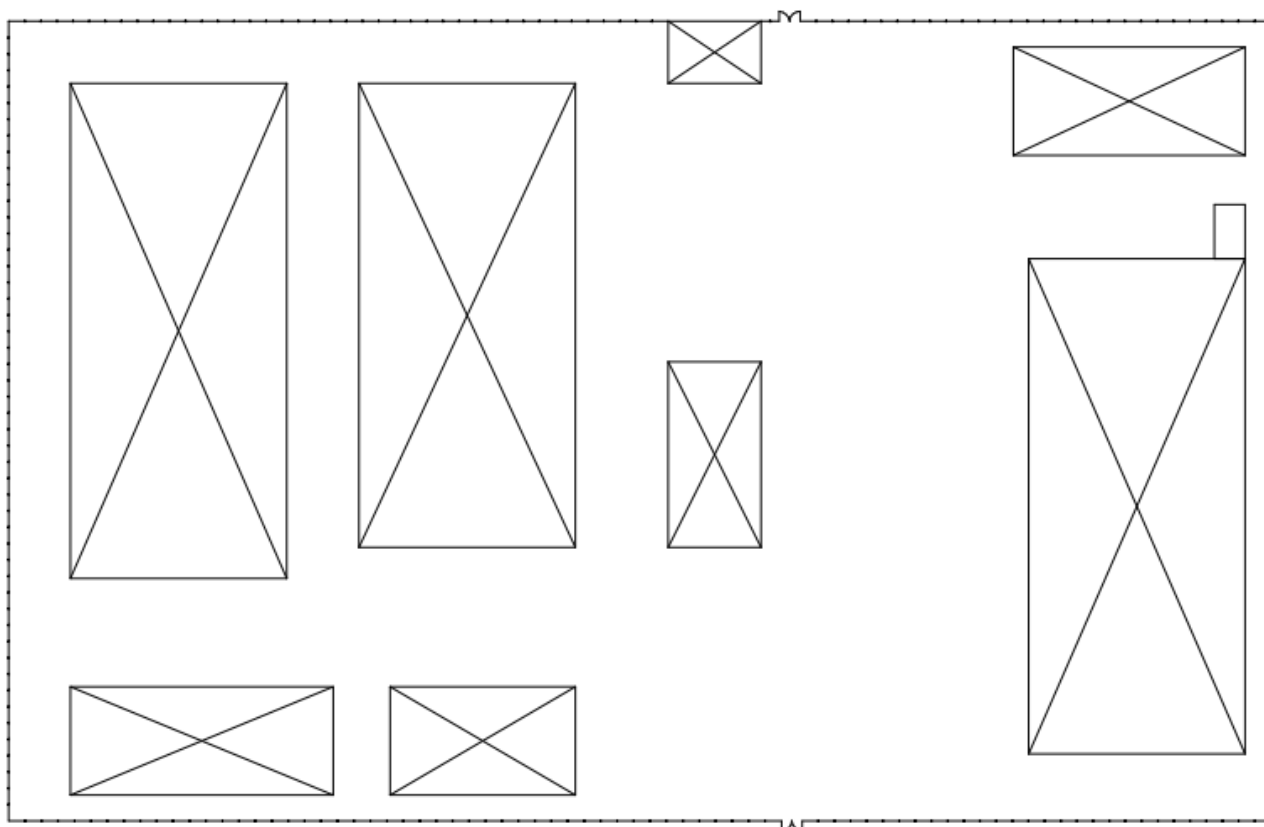


Рисунок 1.1 – Генеральний план підприємства

У проєкті детально будуть розраховуватись електричні навантаження цеху екструзії, де встановлено таке технологічне обладнання як екструдер, кільце охолодження, автомат витягування, автомат намотування, розрядні установки, вакуумний завантажувач, гравіметричний дозатор, чіллер,

					ЛНТУ.971063.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Валер В.А.				Електропостачання заводу гнучкого пакування встановленою потужністю 1410 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Денисовець Т.М.					Д	8	3
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр. ЕЕ-43		
Затвердив	Волинець В.І.							

вентиляційна установка.

Технологічний процес у цеху екструзії базується на методі переробки полімерів у безперервне плівкове полотно і складається з таких основних етапів:

1. Підготовка та подача сировини - полімерні гранули (поліетилен, поліпропілен) разом із добавками та барвниками завантажуються в бункери. За допомогою гравіметричних дозаторів компоненти змішуються у точних пропорціях для отримання заданих властивостей плівки.
2. Пластифікація та екструзія - сировина потрапляє в екструдер, де під дією високої температури (ТЕНов) та тертя шнека перетворюється на гомогенний розплав. Шнек продавлює розплавлену масу через екструзійну головку, яка формує майбутній профіль плівки (рукав або плоске полотно).
3. Формування та охолодження - розплав, що виходить із головки, інтенсивно охолоджується повітряним кільцем (при видуві рукава) або на охолоджувальних валах (каландрах). На цьому етапі задаються геометричні параметри - товщина та ширина плівки.
4. Витяжка та коронування - плівка проходить через систему валів, де відбувається її вирівнювання та стабілізація. Більшість ліній оснащені вузлом активації (коронатором), який обробляє поверхню високовольтним розрядом для забезпечення адгезії фарби на наступних етапах виробництва.
5. Намотування - готова плівка змотується у великі рулони (джамбо-ролі) на автоматичних намотувальних пристроях. Після цього рулони маркуються та передаються на дільницю друку або ламінування.

Параметри для проектування:

1. Площа заводу - 37980 м²;
2. Площа цехів та будівель - 15480 м²;
3. Встановлена потужність - 1410 кВт;
4. Джерело живлення - шини 10 кВ районної підстанції;
5. Довжина живлячої лінії - 1,25 км;
6. Потужність струму КЗ на шинах джерела живлення - 79 МВА;

					<i>ЛНТУ.971063.000 ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Кількість робочих змін - 3;
8. Кількість годин роботи обладнання в рік - 6000 год;
9. Кількість годин роботи обладнання при максимальному навантаженні - 5600 год;
10. Реактивна потужність, яка дозволена до використання енергосистемою - 423 кВАр.

Встановлена потужність та площа цехів наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Встановлена потужність та площа цехів підприємства

Назва цеху	Встановлена потужність $P_{\text{вст}}$, кВт	Площа цехів S , м ²
Цех екструзії	369	4032
Цех ламінації	271	4032
Склад	92	3780
Котельня	168	756
Цех виготовлення пакетів	280	648
Офіс	25	1071
Цех друку	200	945
Прохідна	5	216
Разом	1410	15480

Електроприймачі заводу за надійністю живлення розподілені між II та III категоріями. До II категорії, що складає 91% від загального навантаження, віднесено основне виробництво та котельню. Інші допоміжні будівлі (9%) належать до споживачів III категорії.

ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ

2.1. Розрахунок силових електричних навантажень

Розрахунок електричних навантажень для цеху екструзії виконано згідно з методикою [1], детальний опис якої наведено у додатку А.1. Отримані результати систематизовано та представлено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Визначення розрахункових навантажень цеху екструзії

Назва групи приймачів електричної енергії	Встановлена потужність, <i>кВт</i>		<i>n</i>	<i>K_{вик}</i>	<i>m</i>	<i>tgφ</i>	Середнє навантаження за найбільш завантажену зміну		<i>n_{ед}</i>	<i>K_{max}</i>	Розрахункове навантаження	
	<i>P_в</i>	<i>P_{ном}</i>					<i>P_{ср зм}, кВт</i>	<i>Q_{ср зм}, кВАр</i>			<i>P_p, кВт</i>	<i>Q_p, кВАр</i>
Споживачі з постійним графіком навантаження												
Екструдер	74	148	2	0,7	-	1,33	103,6	137,79	-	-	103,6	137,79
Екструзійна головка	4	8	2	0,8	-	0,48	6,4	3,07	-	-	6,4	3,07
Кільце охолодження	4	8	2	0,6	-	1,52	4,8	7,30	-	-	4,8	7,30
Автомат витягування	12	60	5	0,6	-	1,73	36	62,28	-	-	36	62,28
Автомат намотування	4	4	1	0,8	-	0,75	3,2	2,40	-	-	3,2	2,40
Вакуумний завантажувач	10	10	1	0,6	-	1,33	6	7,98	-	-	6	7,98
Гравіметричний дозатор	4	4	1	0,6	-	1,33	2,4	3,19	-	-	2,4	3,19
Чіллер	10	10	1	0,6	-	1,33	6	7,98	-	-	6	7,98
Приводні вали	20	20	1	0,7	-	1,17	14	16,38	-	-	14	16,38
Шредер	20	20	1	0,6	-	1,33	12	15,96	-	-	12	15,96
Гранулятор	10	10	1	0,6	-	1,33	6	7,98	-	-	6	7,98
Розрядна установка	51	51	1	0,6	-	1,02	30,6	31,21	-	-	30,6	31,21
Вентилятор	4	16	4	0,75	-	1,02	12	12,24	-	-	12	12,24
<i>Всього з ПГН</i>	-	-	-	-	18,5	-	243	316	9,97	1	243	316
Разом	-	369	23	-	-	-	243	316	-	-	243	316

					<i>ЛНТУ.971063.000 ПЗ</i>						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання заводу гнучкого пакування встановленою потужністю 1410 кВт. Пояснювальна записка			Літ.	Арк.	Аркушів	
Розробив	Валер В.А.							д	11	22	
Перевірив	Денисовець Т.М.										
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.							ФАБЕ, гр. ЕЕ-43			
Затвердив	Волинець В.І.										

Аналогічно за «методом впорядкованих діаграм» [1] визначимо розрахункові навантаження для інших цехів та об'єктів заводу. Результати розрахунку зображені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Визначення розрахункових навантажень всього заводу

Назва цеху	Встановлена потужність $P_{вст}, кВт$	Розрахункові навантаження		
		$P_p, кВт$	$Q_p, кВАр$	$S_p, кВА$
Цех екструзії	369	243	316,00	398,63
Цех ламінації	271	154,47	123,58	197,82
Склад	92	52,44	41,95	67,16
Котельня	168	95,76	76,61	122,63
Цех виготовлення пакетів	280	159,6	127,68	204,39
Офіс	25	14,25	11,40	18,25
Цех друку	200	114	91,20	145,99
Прохідна	5	2,85	2,28	3,65
Разом	1410	836,37	790,70	1158,51

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

2.2.1. Розрахунок освітлювальних навантажень підприємства

Обчислення освітлювального навантаження виконано методом питомої потужності згідно з алгоритмом, наведеним у додатку А.2. Проєктом передбачено використання сучасних енергоефективних світлодіодних світильників. Підсумкові показники розрахунку для всіх приміщень представлені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунку освітлювальних навантажень заводу

Назва	$E_{норм},$ лк	$F,$ м ²	$h,$ м	$P_{нум},$ $\frac{Вт}{м^2}$	$P_0,$ кВт	Тип лампи	$K_{пра}$	K_n	$tg\varphi$	$P_{ро},$ кВт	$Q_{ро},$ кВАр
Цех екструзії	200	4032	9	16	64,512	LED	1,2	0,9	0,33	69,67	22,99
Цех ламінації	200	4032	9	16	64,512	LED	1,2	0,9	0,33	69,67	22,99
Склад	100	3780	9	10	37,8	LED	1,2	0,9	0,33	40,82	13,47
Котельня	75	756	9	10	7,56	LED	1,2	0,9	0,33	8,16	2,69
Цех виготовлення пакетів	200	648	9	16	10,368	LED	1,2	0,9	0,33	11,20	3,70
Офіс	300	1071	6	20	21,42	LED	1,2	0,9	0,33	23,13	7,63
Цех друку	200	945	9	16	15,12	LED	1,2	0,9	0,33	16,33	5,39
Прохідна	200	216	4	15	3,24	LED	1,2	0,9	0,33	3,50	1,15
Разом	-	15480	-	-	224,532	-	-	-	-	242,49	80,02

2.2.2. Розрахунок освітлювальної мережі цеху екструзії

У даному проєкті будемо детально розробляти освітлення цеху екструзії.

Площа цеху екструзії складає 4032 м², питома потужність складає 16 Вт/м². Відповідно за таблицею відповідності переведемо питому потужність в значення для світлодіодних світильників:

$$p_{numLED} = \frac{p_{numLP}}{6,66} = \frac{16}{6,66} = 2,4 \text{ Вт/м}^2.$$

Згідно плану ми намічаємо собі 2 ряди по 40 світильників в кожному. Підставляємо відомі значення у вираз та знайдемо потужність лампи.

$$P_{л} = \frac{4032 \cdot 2,4}{80} = 120,96 \text{ Вт}.$$

Вибираємо LED світильник потужністю 150 Вт типу ZEUGMA-150 [5] (Нороз).

Перерахуємо кількість світильників з врахуванням вибраної потужності:

$$N_{св} = \frac{4032 \cdot 2,4}{150} = 64,5 \text{ шт.}$$

Приймаємо до встановлення в цеху 66 світильників (3 ряди по 22 світильника в кожному ряду).

В якості освітлювального щитка вибираємо щиток робочого освітлення типу ЩО-4 (Білмакс), номінальний струм якого 50 А. Живлення світильників від освітлювального щитка здійснюється проводом ПВСм-3х4 з $I_{тр \cdot доп} = 34$ А (Одескабель).

2.3. Визначення сумарних навантажень

Визначення загального сумарного навантаження підприємства здійснюється за методикою [6] шляхом інтегрування показників силового та освітлювального навантажень по кожному об'єкту та цеху. Підсумкові результати розрахунків для всього заводу наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Результати розрахунку сумарних навантажень

Назва	$P_{ср зм},$ кВт	$Q_{ср зм},$ кВАр	$P_{ро},$ кВт	$Q_{ро},$ кВАр	$P_{р\sum},$ кВт	$Q_{р\sum},$ кВАр	$S_{р\sum},$ кВА
Цех екструзії	243	316,00	69,67	22,99	312,67	338,99	461,17
Цех ламінації	154,47	123,58	69,67	22,99	224,14	146,57	267,81
Склад	52,44	41,95	40,82	13,47	93,26	55,42	108,49
Котельня	95,76	76,61	8,16	2,69	103,92	79,30	130,73
Цех виготовлення пакетів	159,6	127,68	11,20	3,70	170,80	131,38	215,48
Офіс	14,25	11,40	23,13	7,63	37,38	19,03	41,95
Цех друку	114	91,20	16,33	5,39	130,33	96,59	162,22
Прохідна	2,85	2,28	3,50	1,15	6,35	3,43	7,22
Разом	836,37	790,70	242,49	80,02	1078,86	870,72	1386,40

2.4. Розрахунок картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень

Для раціонального розміщення підстанції проведено розрахунок координат центру електричних навантажень та візуалізовано за допомогою картограми. Результати обчислень систематизовано у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунку картограми електричних навантажень

Назва	X, м	Y, м	$P_{p\Sigma} \cdot x$	$P_{p\Sigma} \cdot y$	R, см	α , град.
Цех екструзії	34	96	10630,88	30016,60	10	80
Цех ламінації	218	63	48863,17	14121,01	8	112
Склад	88	98	8207,23	9139,87	5	158
Котельня	92	16	9561,08	1662,80	6	28
Цех виготовлення пакетів	137	70	23399,25	11955,82	7	24
Офіс	37	15	1383,19	560,75	3	223
Цех друку	216	140	28151,19	18246,14	6	45
Прохідна	137	151	869,84	958,73	1	198
Разом	-	-	131065,84	86661,73	-	-

Визначаємо координати центру активних навантажень за виразами А.3.2-А.3.3 (додатку А.3):

$$X_A = \frac{131065,84}{1078,86} = 121 \text{ м},$$

$$Y_A = \frac{86661,73}{1078,86} = 80 \text{ м}.$$

2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів

Наступний етап проєктування присвячено техніко-економічному обґрунтуванню кількості та номінальної потужності силових трансформаторів для закритої підстанції. Процедура вибору реалізовано на основі

					<i>ЛНТУ.971063.000 ПЗ</i>	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розрахункових методів, наведених у додатку А.4, що дозволяє оптимізувати роботу трансформаторного парку в режимах нормального та післяаварійного функціонування. Розрахункові параметри та обрані типовиконання одиниць обладнання систематизовано в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Порівняння варіантів вибору потужності силових трансформаторів

Показник	Варіант I	Варіант II
$P_{p\Sigma}$, кВт	1078,86	1078,86
$Q_{p\Sigma}$, кВАр	870,72	870,72
$S_{p\Sigma}$, кВА	1386,40	1386,40
F , м ²	15480	15480
σ , кВА/м ²	0,09	0,09
Тип трансформатора	ТМ-1000	ТМ-1250
N_{min} , шт	1,5	1,2
m , шт	0	0
$N_{онт}$, шт	2	2
$Q_{max T}$, кВАр	892,22	1377,88
$Q_{НБК 1}$, кВАр	-21,50	-507,16
K_{p1}	–	–
K_{p2}	–	–
γ	–	–
$Q_{НБК 2}$, кВАр	–	–
$Q_{НБК}$, кВАр	–	–
Тип НБК	–	–
ΔP_x , кВт	1,55	1,6
ΔP_K , кВт	10,8	14,7
τ_M , год	4098,4	4098,4
ΔW , тис.кВт·год	69,69	65,09
C_e , тис.грн	585,44	546,74
K , тис.грн	1388,00	1440,00
$З$, тис.грн	758,94	<u>726,74</u>

В результаті виконаних розрахунків, оскільки затрати другого варіанту менші, приймаємо до встановлення в ТП два трансформатора типу ТМ-1250/10.

Перевіримо їх на перевантажувальну здатність з врахуванням відключення споживачів III категорії надійності, які мають потужність 157,66 кВА:

$$1,4 \cdot 1250 = 1750 > \frac{2 \cdot (1386,4 - 157,66)}{2} = 1228,74 \text{ кВА.}$$

Умова виконується. Приймаємо до встановлення трансформатор ТМ-1250/10 (УкрЕЛКОМ).

2.6. Компенсація реактивної потужності

З метою мінімізації втрат активної енергії та підтримання належної якості напруги проведено розрахунок параметрів конденсаторних установок для рівня напруги 10 кВ (методика розрахунку представлена у додатку А.5). При визначенні сумарної потужності КУ враховано вимогу щодо компенсації реактивної складової навантаження, виходячи з різниці між власним максимумом споживання та нормативною величиною реактивної енергії, встановленою енергопостачальною організацією [9]. Усі результати розрахунку подано в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Результати розрахунку потужності ВБК

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
Q_p	кВАр	870,72
$Q_{\text{етах}}$	кВАр	423
$Q_{\text{НБК}}$	кВАр	0
ΔQ_T	кВАр	38,1
$k_{\text{НС}}$	–	0,9
Q_{M1}	кВАр	783,65
Q_{K1}	кВАр	360,65
$Q_{\text{НСТ}}$	кВАр	908,82
$Q_{\text{ВБК}}$	кВАр	398,75

Зважаючи на кількісні показники дефіциту реактивної потужності (398,75 кВАр), застосування високовольтних конденсаторних установок визнано неефективним. Подальші розрахунки базуються на впровадженні засобів компенсації безпосередньо на шинах 0,4 кВ, що забезпечить більш глибоке розвантаження елементів системи електропостачання. Приймаємо до встановлення на кожен шину 0,4 кВ конденсаторні батареї ККУ-0,4-200/6-20-21УЗ [8] (УкрЕЛКОМ).

2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях

Визначення електричних навантажень на вищих ієрархічних рівнях системи електропостачання (СЕР) здійснюється згідно з методологічними положеннями, викладеними у додатку А.6. Застосування ієрархічного методу дозволяє послідовно агрегувати потужності від окремих вузлів споживання до головної понижувальної підстанції. Розрахунок інтегральних показників навантаження на стороні високої напруги виконується за аналітичними виразами (А.6.1) та (А.6.2):

$$S_{P4} = \sqrt{(1078,86 + 6,8)^2 + (870,72 + 38,1 - 400)^2} = 1199 \text{ кВА},$$

$$\Delta P_{T1250} = 2 \cdot 1,6 + \frac{1}{2} \cdot 0,7^2 \cdot 14,7 = 6,8 \text{ кВт}.$$

2.8. Проектування зовнішньої мережі живлення підприємства

Рациональна напруга за [9]:

$$U = \sqrt{1,199 \cdot (100 + 15 \cdot \sqrt{1,25})} = 11,8 \text{ кВ}.$$

					<i>ЛНТУ.971063.000 ПЗ</i>	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

«Найближчою з ряду стандартних є напруга 10 кВ, тому вибираємо її для живлення заводу» [9].

Джерело живлення знаходиться на відстані 1250 м від заводу.

За додатком А.7 визначаємо струм післяаварійного режиму, коли одна живильна лінія вийде з ладу:

$$I_{n\text{ ав}} = \frac{1199}{\sqrt{3} \cdot 10} = 69,3 \text{ А.}$$

Для живлення заводської трансформаторної підстанції вибираємо кабель марки АПвЕгаПу «кабелі силові трижильні з алюмінієвими СПЖ, ізоляцією зі зшитого поліетилену, з поздовжньою та поперечною герметизацією та посиленою зовнішньою оболонкою з поліетилену» [10].

Визначаємо розрахунковий струм в нормальному режимі за (А.7.5):

$$I_{\text{норм}} = \frac{1199}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 34,6 \text{ А.}$$

Результати вибору зведемо в таблицю 2.8.

Таблиця 2.8 – Результати вибору перерізу КЛ 10 кВ

F , мм^2	$I_{\text{доп}}$, А	$I'_{\text{доп}}$, А	r_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	x_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$\Delta U_{\text{норм}}$, В	$\Delta U_{\text{норм}}$, $\%$	$\Delta U_{n\text{ ав}}$, $\%$	K_3	ΔP_H , кВт	ΔP_o , кВт	C_e , тис. грн.	K , тис. грн.	3 , тис. грн.
35	119	128,52	0,894	0,095	57,778	0,578	1,156	0,269	55,375	4,013	138,170	1976,6	385,25
50	140	151,2	0,625	0,09	41,452	0,415	0,829	0,229	53,582	2,806	96,596	2088,8	357,70
70	171	184,68	0,447	0,086	30,617	0,306	0,612	0,187	57,171	2,007	69,085	2464,9	377,20
95	203	219,24	0,329	0,083	23,419	0,234	0,468	0,158	59,302	1,477	50,848	2556,04	370,35
120	232	250,56	0,261	0,081	19,259	0,193	0,385	0,138	61,446	1,172	40,338	2891,4	401,76

Кабель перерізом 50 мм^2 виявився найдешевшим, отже приймаємо кабель марки АПвЕгаПу-10-3×50 мм^2 (Південкабель) до встановлення.

					ЛНТУ.971063.000 ПЗ				Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					19

2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі

Для внутрішньозаводської схеми живлення вибираємо змішану схему живлення, яку будемо виконувати кабелем марки ВБбШв (Південкабель) «кабелі силові з мідними СПЖ, із ізоляцією з ПВХ пластикату, броньовані сталевими оцинкованими стрічками, із захисним шлангом з ПВХ пластикату» [11].

Формування внутрішньоцехових мереж передбачає підключення електроприймачів до розподільних пристроїв низької напруги. Відповідно до технічних вимог проекту, прийнято рішення про впровадження пунктів розподільних РП11 [12], оснащених сучасними захисними апаратами АВВ Formula A3N 630 з електронним розчіплювачем типу ELT-LI. Обчислення параметрів розрахункових струмів здійснено згідно з методологією додатку А.8, результати яких наведені у зведених таблицях 2.9 і 2.10. Структура внутрішньозаводської мережі представлена на рис. 2.1.

Таблиця 2.9 – Результати вибору розподільних пристроїв 0,4 кВ та захисної апаратури

Назва будівлі (цеху)	$S_{p\sum},$ кВА	$I_p,$ А	Тип РП	$I_{доп РП},$ А	Кіль- кість приймачів	Кіль- кість ліній	Кіль- кість РП	Позн. на рис.2.1	Тип вимикача АВВ
Цех екструзії	461,17	166,61	РП11	630	23	4	1	РП8	A3N 630
Цех ламінації	267,81	193,50	РП11	630	17	2	1	РП2	A3N 630
Склад	108,49	156,78	РП11	630	8	1	1	РП7	A3N 630
Котельня	130,73	94,46	РП11	630	8	2	1	РП4	A3N 630
Цех виготовлення пакетів	215,48	155,69	РП11	630	6	2	1	РП5	A3N 630
Офіс	41,95	60,62	РП11	630	4	1	1	РП6	A3N 630
Цех друку	162,22	117,21	РП11	630	8	2	1	РП1	A3N 630
Прохідна	7,22	10,43	РП11	630	5	1	1	РП3	A3N 630

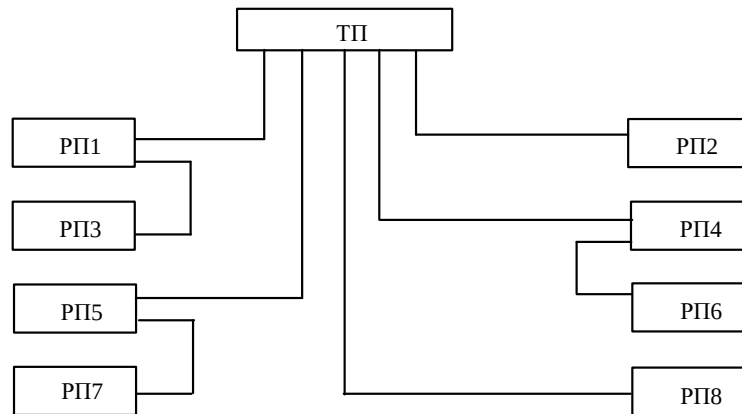


Рисунок 2.1 – Схема внутрішньозаводської мережі 0,4 кВ

Таблиця 2.10 – Результати перевірки вибраних перерізів КЛ 0,4 кВ

Назва КЛ	n	$S_{p\Sigma},$ кВА	$I_p,$ А	Переріз кабелю ВББШВ	$l,$ км	$I_{дон},$ А	$F_e,$ мм ²	$I_{наб},$ А	$I'_{наб},$ А	$r_0,$ $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$x_0,$ $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$\Delta U_{норм},$ %	$\Delta U_{наб},$ %
ТП-РП1	2	169,44	122,43	4х95	0,026	259	45	244,86	246,08	0,195	0,081	0,30	0,59
ТП-РП5	2	323,96	234,08	4х185	0,165	376	87	351,11	352,87	0,1	0,078	2,23	3,34
ТП-РП8	2	461,17	333,22	4х240	0,27	435	123	399,86	401,86	0,077	0,077	4,42	5,30
ТП-РП4	2	172,68	124,77	4х120	0,217	294	46	249,54	250,79	0,154	0,08	2,11	4,22
ТП-РП2	2	267,81	193,50	4х240	0,018	435	72	387,01	388,94	0,077	0,077	0,17	0,34
РП5-РП7	1	130,73	188,91	4х95	0,088	259	70	188,91	189,85	0,195	0,081	1,55	1,55
РП1-РП3	1	7,22	10,43	4х4	0,041	43	4	10,43	10,48	4,63	0,102	0,73	0,73
РП4-РП6	1	108,49	156,78	4х70	0,059	214	58	156,78	157,56	0,265	0,082	1,10	1,10

Оскільки перевірки виконуються, то приймаємо вибрані перерізи кабелю ВББШВ-1.

2.10. Вибір схеми електропостачання цеху екструзії

Приймачі цеху екструзії відносяться переважно до II категорії надійності електропостачання. Для їх живлення вибираємо радіальну схему живлення від РП-0,4 кВ. В якості розподільного пункту в п. 2.9 було вибрано розподільні пункти марки ПР11 [12].

Розрахункове навантаження цеху екструзії становить $S_p=461,17 \text{ кВА}$.

Визначимо струм нормального режиму:

$$I_p = \frac{461,17}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 2} = 333,2 \text{ А.}$$

Згідно п. 2.9 даного проєкту, було вибрано кабель марки ВБбШв-4х240-1 з допустимим струмом $I_{дон}=435 \text{ А}$.

Переріз кабельної лінії вибираєм за виразом (А.8.1) за розрахунковим струмом та коефіцієнтом потужності. Кабель прокладено на лотках.

Усі результати вибору заносим у таблицю 2.11.

Таблиця 2.11 – Результати вибору перерізів КЛ 0,4 кВ цеху екструзії

Назва обладнання	Номінальна потужність P_H , кВт	Кількість, шт	$\cos \varphi$	I_p , А	Переріз кабелю ВБГнгД	$I_{дон}$, А
Екструдер	74	2	0,6	178,23	5х70	214
Екструзійна головка	4	2	0,9	6,42	5х4	43
Кільце охолодження	4	2	0,55	10,51	5х4	43
Автомат витягування	12	5	0,5	34,68	5х4	43
Автомат намотування	4	1	0,8	7,23	5х4	43
Вакуумний завантажувач	10	1	0,6	24,08	5х4	43
Гравіметричний дозатор	4	1	0,6	9,63	5х4	43
Чіллер	10	1	0,6	24,08	5х4	43
Приводні вали	20	1	0,65	44,46	5х6	54
Шредер	20	1	0,6	48,17	5х6	54
Гранулятор	10	1	0,6	24,08	5х4	43
Розрядна установка	51	1	0,7	105,28	5х25	123
Вентилятор	4	4	0,7	8,26	5х4	43

Так як усі перевірки виконуються, то приймаємо до встановлення вибрані перерізи кабелів.

2.11. Розрахунок струмів короткого замикання

2.11.1. Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 10 кВ

$S_{\sigma}=100 \text{ МВА}; U_{\sigma}=U_{cp}=10,5 \text{ кВ.}; S_{K3}=79 \text{ МВА}.$

Опір системи:

$$\dot{X}_{C^{*}} = \frac{100}{79} = 1,26.$$

На рисунках 2.2 та 2.3 зображена розрахункова та схема заміщення.

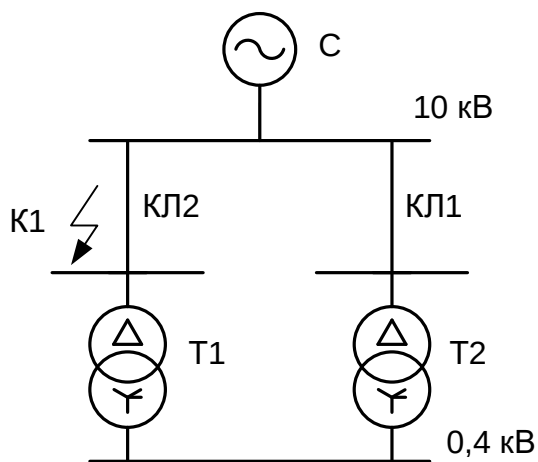


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема

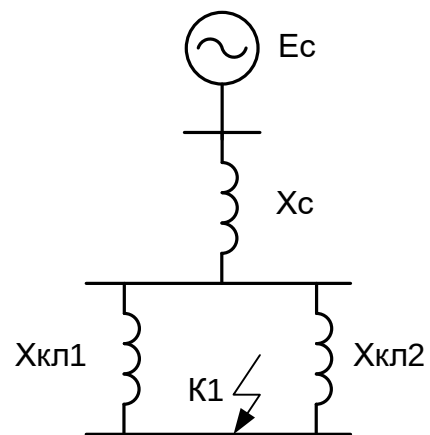


Рисунок 2.3 – Схема заміщення

Опір кабельної лінії:

$$x_{KЛ1^{*}} = 1,25 \cdot 0,09 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,102.$$

Опір паралельних ліній за формулою (рис. 2.4):

$$x_{KЛ12^{*}} = \frac{0,102}{2} = 0,051.$$

Результуючий опір:

					ЛНТУ.971063.000 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$x_{рез*} = 1,26 + 0,051 = 1,311.$$

Схема набуває вигляду, зображеного на рисунку 2.5.

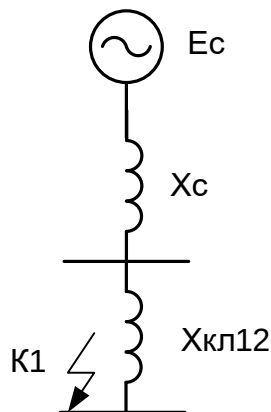


Рисунок 2.4 – Перетворення схеми заміщення

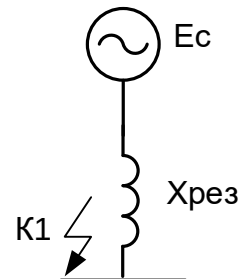


Рисунок 2.5 – Результуючий опір

Струм КЗ в точці К1 становить:

$$I_о = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА},$$

$$I_{no} = \frac{5,5}{1,311} = 4,19 \text{ кА}.$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 4,19 = 7,7 \text{ кА}.$$

Визначимо мінімальний переріз кабелю, який буде стійким до термічної дії струмів короткого замикання:

$$F_{\min} = \frac{4190}{78} \cdot \sqrt{0,25} = 27 \text{ мм}^2.$$

Перевірка обраного кабелю АПвЕгаПу-10-3×50 підтвердила його відповідність розрахунковим критеріям, оскільки його переріз значно

					ЛНТУ.971063.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перевищує мінімально необхідне значення у 27 мм². Дане рішення забезпечує сталу роботу лінії у визначених режимах і приймається як остаточне.

Розрахуємо також тепловий імпульс струму короткого замикання:

$$B_K = 4,25^2 \cdot 0,25 = 4,39 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

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

Розраховувати струми КЗ на стороні низької напруги будемо відповідно до методики, яка наведена в додатку А.10.

$U_0 = 0,4 \text{ кВ}$; $I_{KB} = 4,19 \text{ кА}$; $U_{CBH} = 10,5 \text{ кВ}$; $S_T = 1250 \text{ кВА}$, $\Delta P_K = 14,7 \text{ кВт}$,
 $u_K = 5,5\%$.

Параметри вибраної лінії подано в таблиці 2.12.

Реактивний опір системи:

$$x_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 4,19} = 1,45 \text{ Ом}.$$

Активний опір системи:

$$r_c = r_o \cdot l = 0,625 \cdot 1,25 = 0,78 \text{ Ом}.$$

Опір системи, який приведений до нижчої напруги:

- реактивний:

$$x_c^o = 1,45 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 2,1 \text{ мОм};$$

- активний:

$$r_c^o = 0,78 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,113 \text{ мОм}.$$

					<i>ЛНТУ.971063.000 ПЗ</i>	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рисунках 2.6 та 2.7 показано розрахункову схему ТП та схему заміщення КЗ кола:

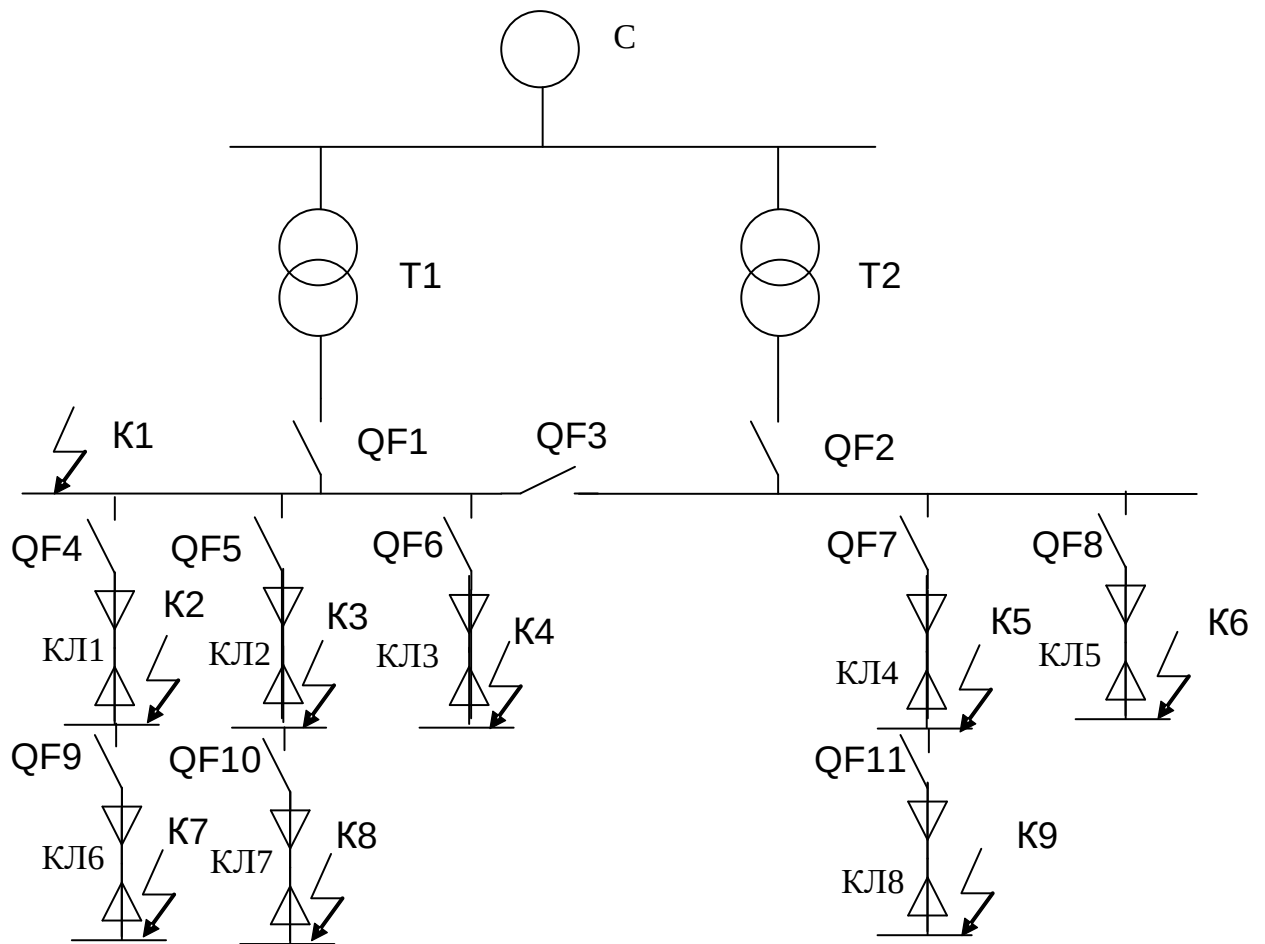


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема КЗ кола

Опори трансформатора:

– активний:

$$r_T = \frac{14,7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,4^2}{1,25^2} = 1,5 \text{ мОм};$$

– реактивний:

$$x_T = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{0,4^2}{1250} = 0,007 \text{ мОм}.$$

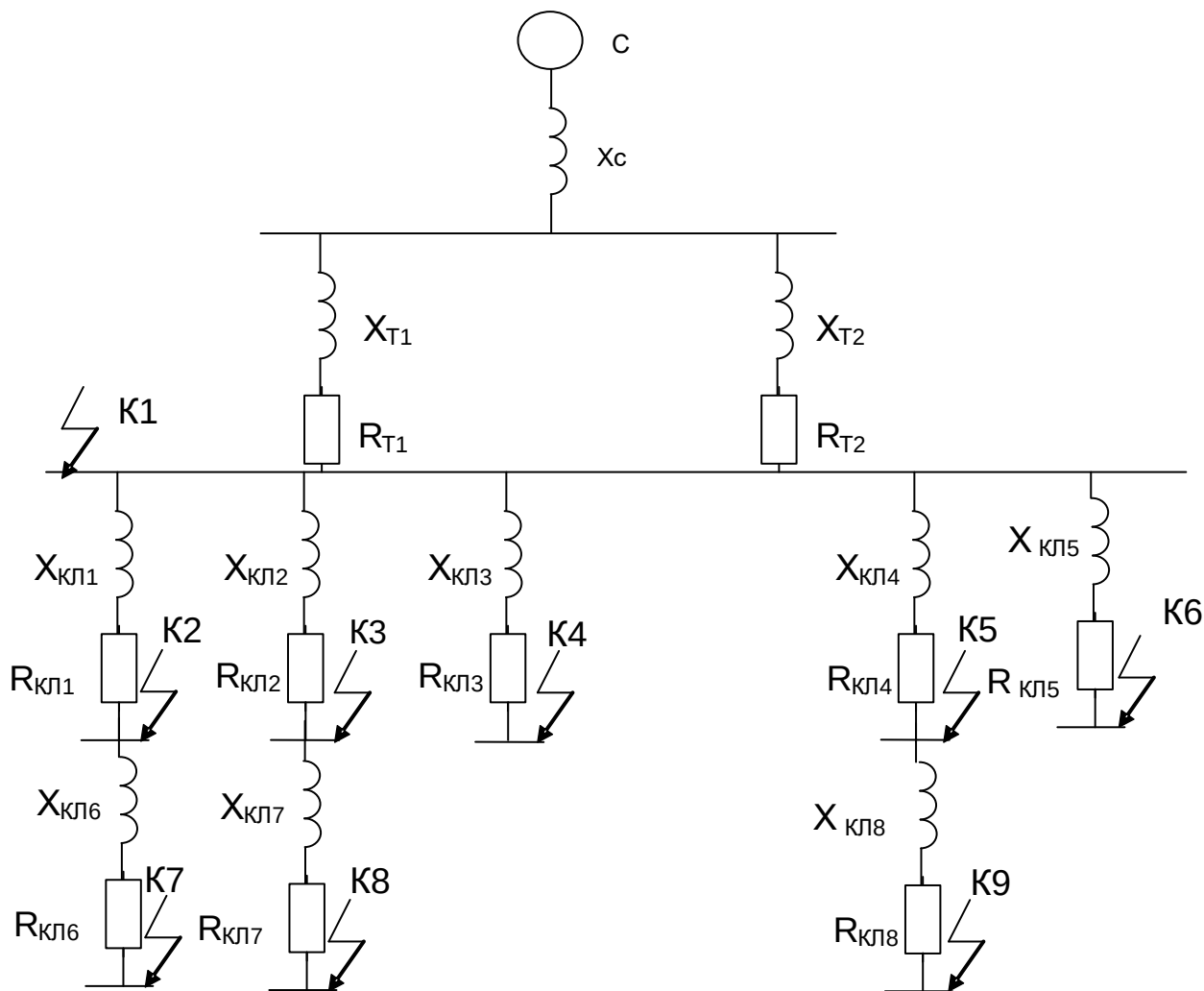


Рисунок 2.7 – Схема заміщення КЗ кола

Результуючі опори до точки К1:

– реактивний:

$$x_{рез1}^o = 2,1 + 0,007 = 2,107 \text{ мОм};$$

– активний:

$$r_{рез1}^o = 0,13 + 1,5 + 15 = 17,63 \text{ мОм}.$$

У таблиці 2.12 показано розрахунок опорів ліній.

Таблиця 2.12 - Результати розрахунку опорів ліній

Назва КЛ	l , км	r_o , Ом/км	r , Ом	x_o , Ом/км	x , Ом
КЛ1	0,026	0,195	5,07	0,081	2,11
КЛ2	0,165	0,1	16,5	0,078	12,87
КЛ3	0,27	0,077	20,79	0,077	20,79
КЛ4	0,217	0,154	33,418	0,08	17,36
КЛ5	0,018	0,077	1,386	0,077	1,39
КЛ6	0,088	0,195	17,16	0,081	7,13
КЛ7	0,041	4,63	189,83	0,102	4,18
КЛ8	0,059	0,265	15,635	0,082	4,84

Перевіримо вибрані перерізи кабельних ліній на термічну стійкість до струмів КЗ згідно виразу (А.9.7). Результати перевірки показано в таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Результати перевірки вибраних перерізів КЛ

Точка КЗ	$x_{рез}$, мОм	$r_{доп}$, мОм	$r_{рез}$, мОм	$z_{рез}$, мОм	I_k , кА	k_y	i_y , кА	F_{min} , мм ²	F_{np} , мм ²
К1	2,107	15	17,63	17,76	13,02	1,3	23,87	—	—
К2	4,21	20	42,7	42,91	5,39	1	7,60	22,8	95
К3	14,98	20	54,13	56,16	4,12	1	5,80	17,4	185
К4	22,90	20	58,42	62,75	3,68	1	5,20	15,6	240
К5	19,47	20	71,048	73,67	3,14	1	4,43	13,3	120
К6	3,49	20	39,016	39,17	5,90	1	8,32	25,0	240
К7	11,34	25	84,86	85,61	2,70	1	3,81	11,4	95
К8	19,16	25	268,96	269,64	0,86	1	1,21	3,6	4
К9	24,31	25	111,68 3	114,30	2,02	1	2,85	8,6	70

Так як вибрані перерізи кабелів більші за мінімальні, то приймаємо їх до влаштування остаточно.

2.12. Вибір обладнання

2.12.1. Вибір комірок

На стороні 10 кВ ТП-10/0,4 кВ вибираємо комірки збірні одностороннього обслуговування типу КСО-304 (УкрЕЛКОМ) [16]. За виразами (А.11.1)-(А.11.5) здійснюємо вибір та перевірку відповідно до додатку А.11.

Результати перевірки зведемо в таблицю 2.14.

Таблиця 2.14 – Вибір комірок КСО

Каталожні дані	Розрахункові дані
$U_{\text{ном.крп}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном.крп}}=630 \text{ А}$	$I_{\text{р.мах}}=69,3 \text{ А}$
$I_{\text{ном.відкл.крп}}=20 \text{ кА}$	$I_{\text{к.мах}}=4,19 \text{ кА}$
$i_{\text{ном.дин.крп}}=51 \text{ кА}$	$i_{\text{у.мах}}=7,7 \text{ кА}$
$B_{\text{т}}=20^2 \cdot 1=400 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{\text{к}}=4,19^2 \cdot 0,25= 4,39 \text{ кА}^2\text{с}$

Приймаємо остаточно комірки типу КСО-304 до встановлення.

2.12.2. Вибір роз'єднувачів

У комірках КСО-304 встановлюємо роз'єднувачі з заземлюючими ножами РР/ЕЛ-10 [17] (УкрЕЛКОМ). Результати перевірки зведемо в таблицю 2.15.

Таблиця 2.15 – Вибір роз'єднувачів 10 кВ

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{\text{уст}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ}$
$I_{\text{норм}}=34,6 \text{ А}$ $I_{\text{макс}}=69,3 \text{ А}$	$I_{\text{ном}}=630 \text{ А}$
$i_{\text{у}}=7,7 \text{ кА}$	$i_{\text{гр наскр}}=51 \text{ кА}$
$B_{\text{к}}=4,19^2 \cdot 0,25=4,39 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{\text{т}}=20^2 \cdot 1=400 \text{ кА}^2\text{с}$

Так як умови виконуються. Приймаємо остаточно роз'єднувачі типу РР/ЕL-РР-30-10-630У2.

2.12.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників

У комірках 10 кВ КСО-304 встановлюються також вимикачі навантаження без запобіжника та з запобіжником. Приймаємо до встановлення вимикачі навантаження типу ВНР-РА з пружинним приводом [18].

Результати перевірки вимикачів навантаження показано в таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 – Вибір вимикачів навантаження 10 кВ

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{ном} = 34,6 \text{ А}$ $I_{макс} = 69,3 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$i_y = 7,7 \text{ кА}$	$i_{гр наскр} = 25 \text{ кА}$
$I_{но} = 4,19 \text{ кА}$	$I_{гр наскр} = 10 \text{ кА}$
$B_k = 4,19^2 \cdot 0,25 = 4,39 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_m^2 t_m = 25^2 \cdot 1 = 625 \text{ кА}^2\text{с}$
$I_{макс} = 69,3 \text{ А}$	$I_{ном.з} = 100 \text{ А}$
$I_{макс} = 69,3 \text{ А}$	$I_{вимк з} = 630 \text{ кА}$
$S'' = 79 \text{ МВА}$	$S_{.вимк з} = 200 \text{ МВА}$

Приймаємо остаточно вимикач навантаження з запобіжником ВНР-РА/ЕL-ПР-30-П-10-630-25У2 та ВНР-РА/ЕL-ПР-30-10-630-25У2 без запобіжника.

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів

На стороні 0,4 кВ ТП встановлюємо комірки типу ЩО-04 (УкрЕЛКОМ) [19], де встановлено на вводі та між секціями автоматичні вимикачі серії Rade Консар [20], які перевіряємо за умовами, як наведено в додатку А.12.

Вибір та перевірку зведемо в таблицю 2.17.

Таблиця 2.17 – Вибір автоматичних вимикачів

Назва вимикача	Тип вимикача Rade Koncar	Каталожні дані			Розрахункові дані		
		$U_{ном.АВ},$ кВ	$I_{ном.розщ},$ А	$I_{гр.вимк},$ кА	$U_{ном},$ кВ	$I_p,$ А	$I_K,$ кА
QF1 (ввідний)	KP 1250-F	0,4	1250	50	0,4	1196	13,02
QF2 (ввідний)	KP 1250-F	0,4	1250	50	0,4	1196	13,02
QF3	KP 800-F	0,4	400	50	0,4	122,43	5,39
QF4	KP 800-F	0,4	400	50	0,4	234,08	4,12
QF5	KP 800-F	0,4	400	50	0,4	333,22	3,68
QF6	KP 800-F	0,4	400	50	0,4	124,77	3,14
QF7	KP 800-F	0,4	400	50	0,4	193,50	5,90
QF8 (секційний)	KP 1250-F	0,4	1250	50	0,4	1196	13,02
QF9	KP 800-F	0,4	400	50	0,4	122,43	5,39
QF10	KP 800-F	0,4	400	50	0,4	234,08	4,12
QF11	KP 800-F	0,4	400	50	0,4	333,22	3,68
QF12	KP 800-F	0,4	400	50	0,4	124,77	3,14
QF13	KP 800-F	0,4	400	50	0,4	193,50	5,90

Отже, приймаємо до встановлення вибрані вимикачі.

2.12.5. Вибір вимірювальної апаратури

Для розрахункового обліку електричної енергії на вводах НН встановлюємо трифазний електронний лічильник Hager TE370 [21]. Лічильники електроенергії під'єднуються до кіл через трансформатор струму типу ТШ-0,66А-1 [22] (Мегомметр). Перевіримо їх за методикою, яка подана в додатку А.13. Результати перевірки зведемо в таблицю 2.18.

Таблиця 2.18 – Вибір вимірювальної апаратури

Каталожні дані	Розрахункові дані
$I_{номITC}=1200$ А $U_{номTC}=0,72$ кВ $i_{ном\ дин}=51$ кА $B_m = I_m^2 t_m = 100$ кА ² ·с $s_{2ном}=5$ ВА	$I_{p\ max}=1196$ А $U_{ном}=0,4$ кВ $i_{y\ max}=23,87$ кА $B_K = I_{K\ max}^2 t_n = 13,02^2 \cdot 0,25 = 42,4$ кА ² ·с $s_{2p}=0,286$ ВА

Розрахунок номінального навантаження трансформатора струму подано в таблиці 2.19.

Таблиця 2.19 – Вибір лічильника електроенергії

Назва приладу	Тип приладу	Навантаження, ВА
Електронний лічильник	Hager TE370	5
Всього	—	5

У лінійних комірках 0,4 кВ для контролю рівня струму встановлюються амперметри типу ЦА0204 [23] (Мегомметр), вибираємо трансформатори струму типу Т-0,66. Результати перевірки зведемо в таблицю 2.20.

Таблиця 2.20 – Вибір трансформатора струму

Каталожні дані	Розрахункові дані
$I_{ном\text{ТС}}=400 \text{ А}$ $U_{ном\text{ТС}}=0,72 \text{ кВ}$ $i_{ном\text{дин}}= 51\text{кА}$ $B_m = I_m^2 t_m = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ $s_{2ном} = 5 \text{ ВА}$	$I_{p\text{ max}} = 333,22 \text{ А}$ $U_{ном} = 0,4 \text{ кВ}$ $i_{y\text{ max}} = 8,32 \text{ кА}$ $B_k = I_{k\text{ max}}^2 t_n = 5,9^2 \cdot 0,25 = 8,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ $s_{2p} = 5 \text{ ВА}$

Отже, приймаємо до встановлення вибрані трансформатори струму.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ЗОВНІШНІХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Процес математичного моделювання та розрахунку параметрів системи базується на методичних рекомендаціях [24, додаток Б]. Для автоматизації обчислювальних процедур використано програмний комплекс Mathcad, який дозволяє представити результати дослідження у структурованому аналітичному вигляді з дотриманням алгоритмів, передбачених проектним завданням. Вихідні дані силового трансформатора показані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні параметри силового трансформатора (виробник – УкрЕЛКОМ)

Тип трансформатора	$S_{ном}$, МВА	$U_{вн}$, кВ	$U_{нн}$, кВ	u_k , %	ΔP_k , кВт	ΔP_x , кВт	i_x , %	R , Ом	X , Ом	ΔQ_x , кВАр
ТМ-1250/10	1,25	10	0,4	5,5	14,7	1,6	0,85	1,03	0,0048	8,5

Аналіз робочих режимів трансформатора розпочинається з побудови зовнішніх характеристик $U_2 = F(I_2, \cos\varphi)$ для значень коефіцієнта потужності 1, 0,9 та 0,8. Для обчислень застосовано повну Г-подібну схему заміщення (рис. 3.1), а також спрощену модель (рис. 3.2), де не враховуються активні складові опорів, з метою верифікації відхилень у розрахунках.

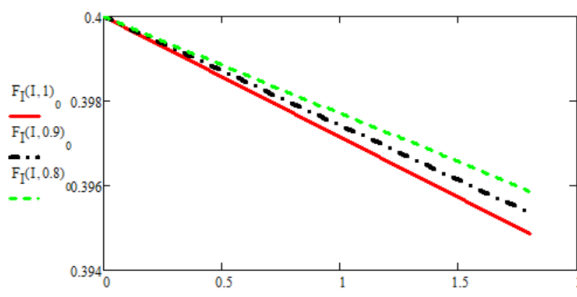


Рисунок 3.1 - Зовнішня характеристика силового трансформатора для Г-подібної схеми заміщення

					<i>ЛНТУ.971063.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Валер В.А.				Електропостачання заводу гнучкого пакування встановленою потужністю 1410 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Денисовець Т.М.					Д	33	2
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр. ЕЕ-43		
Затвердив	Волинець В.І.							

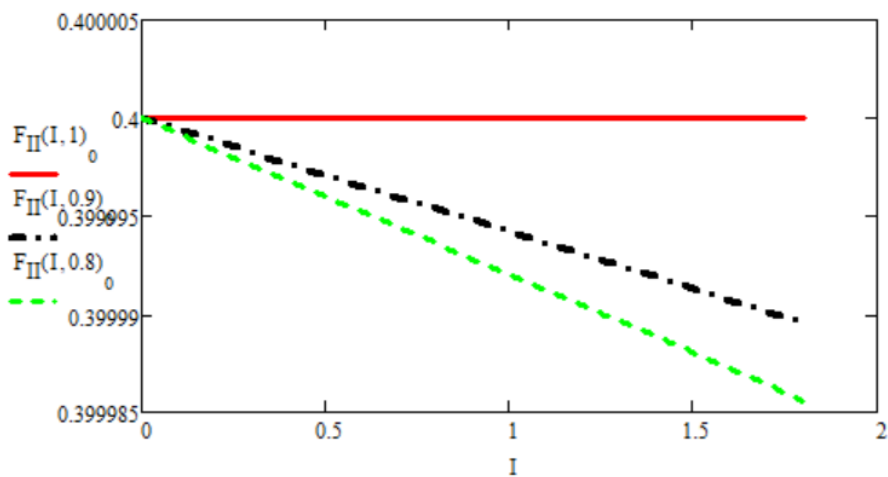


Рисунок 3.2 - Зовнішня характеристика силового трансформатора для спрощеної схеми заміщення без активних параметрів

Результати обчислення відносної похибки двох моделей показані на рисунку 3.3.

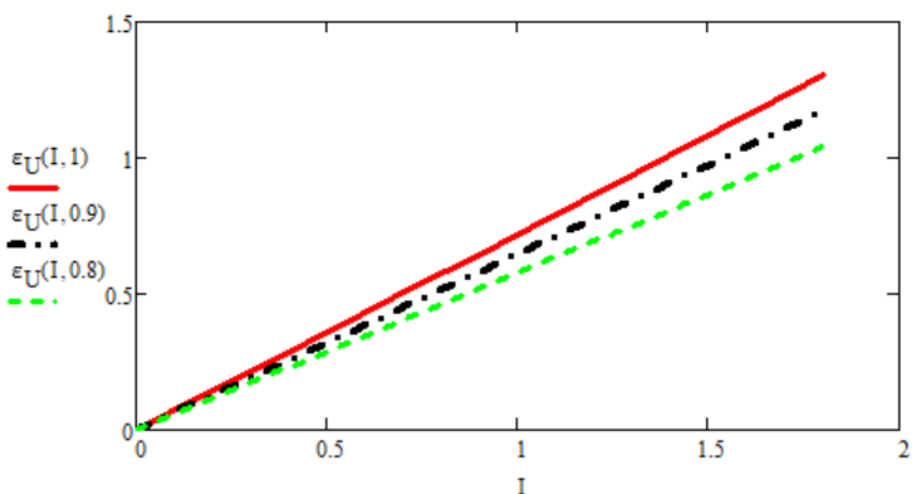


Рисунок 3.3 – Відносна похибка для спрощеної моделі

Як видно з рис. 3.3 найкраща відносна похибка є для $\cos \varphi = 0,8$ і не перевищує 1,1%, що є непоганим результатом для спрощеної математичної моделі без активних параметрів.

САПР

Розглянемо визначення центру активних навантажень заводу гнучкого пакування. Розрахунки проводимо у CAD програмі *PTC Mathcad*. На рисунках 4.1-4.3 зображено лістинг програми розрахунку центру активних навантажень підприємства.

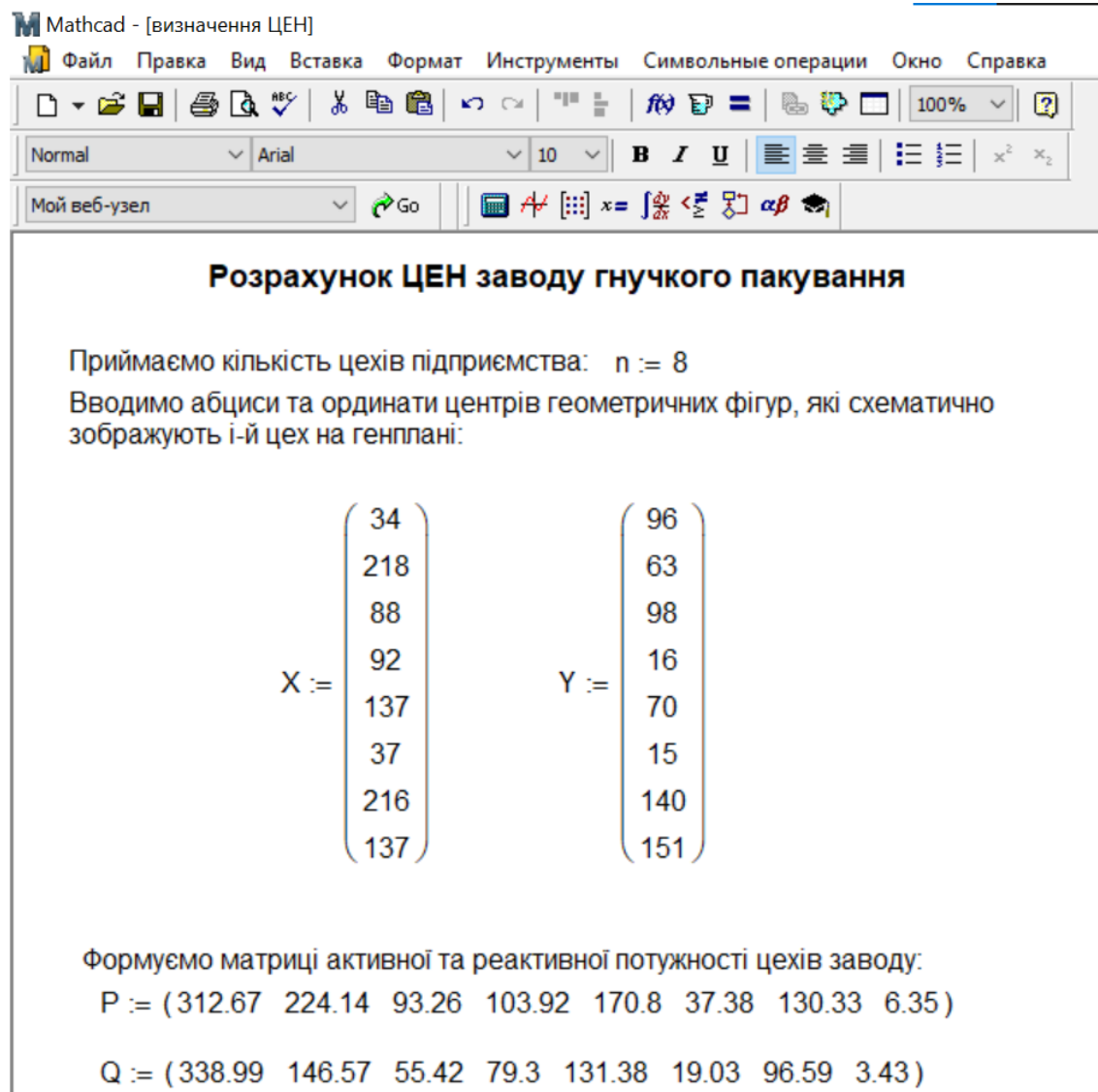


Рисунок 4.1 – Лістинг програми розрахунку центру електричних навантажень
проектованого заводу

					<i>ЛНТУ.971063.000 ПЗ</i>						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив		Валер В.А.			Електропостачання заводу гнучкого пакування встановленою потужністю 1410 кВт.			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевірив		Денисовець Т.М.						Д		35	2
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.			Пояснювальна записка			ФАБЕ, гр. ЕЕ-43			
Затвердив		Волинець В.І.									

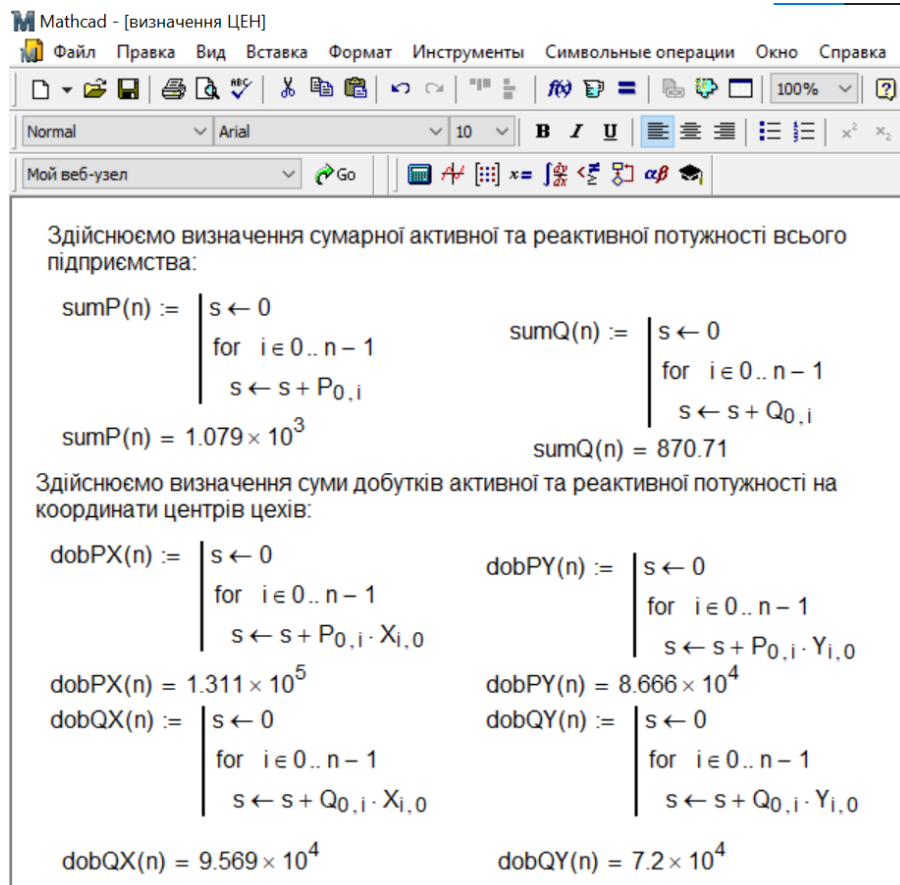


Рисунок 4.2 - Лістинг програми розрахунку центру електричних навантажень проєктованого заводу (продовження)

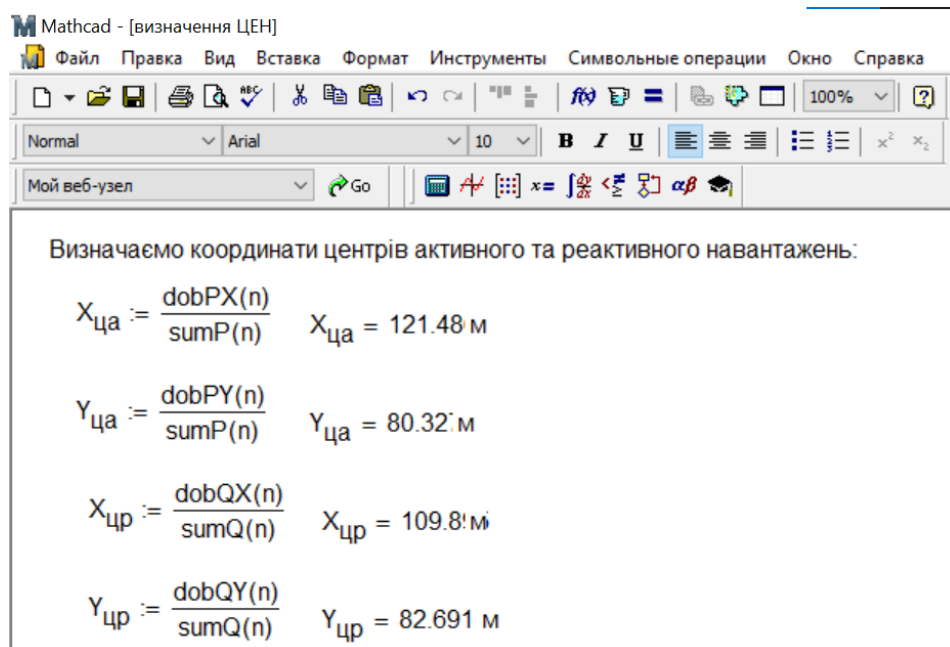


Рисунок 4.3 - Лістинг програми розрахунку центру електричних навантажень проєктованого заводу (продовження)

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Розрахунок захисного занулення цеху екструзії

Розрахунок захисного занулення цеху екструзії проведемо відповідно до додатку В. Параметри, що використовувались та були отримані, подані у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Вхідні параметри та результати розрахунку захисного занулення

Вхідні параметри	
1	2
Спосіб розташування вертикальних заземлювачів	в ряд
Розміри цеху, м	42x96
Матеріал та форма заземлювачів	сталь, труба
Розмір заземлювачів: - довжина, м - зовнішній діаметр, м	3 0,05
Ширина шини, м	0,05
Вид ґрунту	глина
Глибина залягання заземлюючого пристрою, м	0,7
Лінійна напруга, В	400
Матеріал жил кабелю	мідь
Активний опір трансформатора, Ом	0,0015
Номінальний струм автоматичного вимикача, А	630
Довжина петлі «фаза-нуль», м	540
Результати розрахунку	
Питомий опір ґрунту, Ом·м [25, т.5.1]	70
Кліматичний коефіцієнт φ_2 [25, т.5.2]	1,5
Розрахунковий питомий опір ρ_p , Ом·м	105

					<i>ЛНТУ.971063.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання заводу гнучкого пакування встановленою потужністю 1410 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Валер В.А.					Д	37	2
Перевірив	Денисовець Т.М.							
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр. ЕЕ-43		
Затвердив	Волинець В.І.							

Продовження таблиці 5.1

1	2
Відстань від поверхні землі до середини заземлювача t , м	2,2
Опір розтіканню струму однієї вертикальної труби R_{od} , Ом	28,66
Орієнтовна відстань між трубами a , м	6
Кількість заземлювачів n' , шт.	6
Коефіцієнт використання стержньових заземлювачів η [25, т.5.3]	0,8
Необхідна кількість заземлювачів з врахуванням коефіцієнта використання n , шт.	5
Коефіцієнт використання для шин $\eta_{ш}$ [25, т.5.4]	0,87
Опір розтіканню струму з'єднувальної шини $R_{ш}$, Ом	39,99
Опір заземлюючого пристрою без врахування опору шини $R_{см}$, Ом	7,81
Загальний опір заземлюючого пристрою R , Ом	6,54
Струм КЗ, А	1890
Найбільший можливий опір нульового провідника, Ом	0,057
Найменший необхідний переріз нульової жили, мм ²	84,6

Загальний опір заземлюючого пристрою склав 6,54 Ом, що є меншим нормативного значення 10 Ом, тому приймаємо розраховану систему занулення до влаштування (необхідний мінімальний переріз нульової жили при цьому склав 84,6 мм² при реально вибраному 240 мм²).

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Надійність електропостачання споживачів II категорії забезпечено шляхом впровадження радіальної схеми живлення з використанням двох силових трансформаторів типу ТМ-1250/10. При визначенні їхньої номінальної потужності враховано перевантажувальну здатність одиниць обладнання у післяаварійному режимі за умови відключення споживачів III категорії надійності. Зовнішнє живлення об'єкта передбачено кабельною лінією з ізоляцією зі зшитого поліетилену марки АПвЕгаПу-10-3×50 мм², прокладеною траншейним способом у ґрунті. З метою оптимізації показників якості електроенергії та компенсації реактивної потужності на шинах 0,4 кВ інтегровано комплектні конденсаторні установки (ККУ) сумарною потужністю 400 кВАр. В індивідуальному розділі проєкту проведено порівняльний аналіз зовнішніх характеристик силового трансформатора з використанням різних математичних моделей. За допомогою інструментарію САПР у середовищі Mathcad виконано аналітичний розрахунок координат центру активних електричних навантажень заводу. Питання виробничої безпеки опрацьовано в розділі «Електробезпека», де розраховано систему захисного занулення цеху екструзії: отриманий опір заземлювального пристрою 6,54 Ом не перевищує нормативний ліміт у 10 Ом, а фактичний переріз нульової жили 240 мм² обрано з суттєвим запасом відносно мінімально розрахункового значення 84,6 мм².

					<i>ЛНТУ.971063.000 ПЗ</i>	Арк.
						39
Зм.	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://horozua.com/cvetilnik-promishlennij-vlagozashhishhennij-podvesnoj-zeugma-150/>
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://www.ukrelcom.com/kond_uk.php
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 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.

					<i>ЛНТУ.971063.000 ПЗ</i>	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 124 с.

10. Кабелі силові 10 кВ з ШПІ. URL:

<https://www.yuzhcable.info/index.php?CAT=10&MRI=100107&UN=10>

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

<https://www.yuzhcable.info/cat/18/mri/180102>

12. Пункт розподільний 0,4 кВ. URL: <https://hzem.com.ua/ru/punkty-raspreditelnye-pr11-i-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. Камера збірна одностороннього обслуговування КСО-304. URL: https://www.ukrelcom.com/kso_uk.php

17. Роз'єднувач РР/ЕЛ-10. URL: https://ukrelcom.com/pb_pp_uk.php

18. Вимикач навантаження ВНР-РА. URL: <https://ukrelcom.com/v5.php>

19. Розподільчі комірки ЩО-04. URL: <https://ukrelcom.com/sho.php>

20. Автоматичні вимикачі. URL: <https://electrocontrol.com.ua/ua/av/kp-1250-f-1250a-3p-avtomaticheskii-vykluchatel-rade-koncar-kp-1250-f1250a-3p-50ka>

21. Лічильник електроенергії Hager. URL: <https://axiomplus.com.ua/ua/elektricheskie-schetchiki/product-95827/>

22. Трансформатори струму. URL: <https://www.megommetr.com/product-category/production-uk/transformers/>

23. Амперметр електронний трифазний ЦА0204. URL: https://www.megommetr.com/index.php/ua/ampermetry/product/99-ampermetr-tsa0204/category_pathway-41

					<i>ЛНТУ.971063.000 ПЗ</i>	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

24. Моделі елементів електропостачальних систем : методичні вказівки до практичних занять для здобувачів першого бакалаврського рівня вищої освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво спеціальності G3 Електрична інженерія денної та заочн. форм навч. / уклад. В. І. Волинець. Луцьк : ЛНТУ, 2026. 38 с.

25. Сивко В.Й. Розрахунки з охорони праці. Навчальний посібник. Житомир : ЖІТІ, 2001. 152 с.

					<i>ЛНТУ.971063.000 ПЗ</i>	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		