

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Центр заочної та дистанційної освіти
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту ”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____ Плешков П.Г.
“ ____ ” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

**Розроблення системи електропостачання ремонтно-
механічного цеху**

**Design of the power supply system for the repair and
mechanical workshop**

Виконав студент 4 курсу групи ЕЕ-22з
спеціальності 141 «Електроенергетика, електро-
техніка та електромеханіка»

_____ Віталій АВДІЄНКО
« ____ » _____ 2026 р.

Керівник проекту
доц, канд.техн.наук

_____ Іван САВЕЛЕНКО
« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет центр заочної та дистанційної освіти

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ *Плешков П.Г.*

«_____» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

_____ *Авдієнка Віталія Івановича*

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) *Розроблення системи електропостачання ремонтно-механічного цеху*

Design of the power supply system for the repair and mechanical workshop

2. Керівник роботи (проекту) *Савеленко Іван Володимирович, к.т.н., доц.*

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту *20.06.2026 р.*

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту) *Розробити систему електропостачання заводу склотари, згідно завдання: Виконати розрахунок електричних навантажень. РМЦ. Побудувати графіки електричних навантажень. Виконати вибір варіантів схем електропостачання рмц. Виконати розрахунки режимів реактивної потужності, вибору трансформаторів та струмів КЗ. Вибрати технологічне обладнання в РМЦ. Розробити спеціальний розділ.*

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>6.05.26</i>	
2	<i>Побудова графіків електр. навантажень</i>	<i>10.05.26</i>	
3	<i>Вибір напруги і електричних схем електропостачання</i>	<i>16.05.26</i>	
4	<i>Режими реактивної потужності</i>	<i>19.05.26</i>	
5	<i>Розрахунок струмів КЗ</i>	<i>19.05.26</i>	
6	<i>Вибір низьковольтного обладнання</i>	<i>21.05.26</i>	
7	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>27.04.26</i>	
8	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	<i>03.06.26</i>	
9	<i>Виконання графічної частини</i>	<i>10.06.26</i>	

Дата видачі завдання

Підпис керівника _____

«____» _____ 2026 р.

Завдання прийнято до виконання

Підпис студента _____

«____» _____ 2026 р.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 61 с.; 1 рис.; 18 табл.; 8 джерел

Авдієнко В. Розроблення системи електропостачання ремонтно-механічного цеху – Рукопис.

Design of the power supply system for the repair and mechanical workshop

Кваліфікаційна робота бакалавра за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2026 р.

Кваліфікаційна робота присвячена питанням проектування внутрішньозаводської системи електропостачання ремонтно-механічного цеху (РМЦ) у складі підприємства з виробництва скляної тари. Проведено порівняльний техніко-економічний аналіз двох варіантів внутрішнього електропостачання за результатами якого обґрунтовано та прийнято схему із магістральними та розподільними шинопроводами серії ШМА-73УЗ та ШРА-73. Розраховано струми трифазного та однофазного короткого замикання у характерних точках мережі, на основі яких здійснено вибір та перевірку комутаційно-захисної апаратури (автоматичних вимикачів серії ВА2007 та кабельних ліній марки АПВГ. У спеціальному розділі розглянуто заходи з енергозбереження у вентиляційних установках РМЦ.

Ключові слова: система електропостачання цеху, ЧРП, вентилятори, енергозбереження.

ABSTRACT

Qualification work: 61 p.; 1 Fig.; 18 tables; 8 sources

AVDIIENKO V. Design of the power supply system for the repair and mechanical workshop – Manuscript.

Розроблення системи електропостачання ремонтно-механічного цеху

Bachelor's thesis in Speciality 141 "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2026.

The qualification thesis is devoted to the engineering and design of the internal power supply system for a repair and mechanical workshop (RMW) as part of an industrial glass container manufacturing facility. A comparative techno-economic analysis of two internal power supply options was conducted, based on the results of which a distribution scheme utilizing SHMA-73UZ main and SHRA-73 distribution busbar trunking systems was justified and selected. Three-phase and single-phase short-circuit currents were calculated at critical points of the electrical network, serving as the basis for the selection and verification of switching and protective apparatus (VA2007 series circuit breakers) and APVG-type power cable lines. The specialized section examines energy-saving measures within the RMW ventilation systems.

Keywords: workshop power supply system, VFD, fans, energy saving.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЦЕХОВИХ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ	10
1.1 . Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В.....	10
1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень	11
1.3 Розрахунок електричних в силових мережах вище 1000 В	14
1.4 Побудова графіків електричних навантажень цеху.....	20
2. ВИБІР НАПРУГИ І ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	26
2.1. Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання	26
2.2. Вибір схеми внутрішнього електропостачання цеху	27
3. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	33
3.1. Розрахунок балансу реактивної потужності.....	34
3.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв	36
4. ВИБІР КІЛЬКОСТІ, ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЦЕХОВИХ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ.....	37
5. ВИБІР СХЕМИ ТА РОЗРАХУНОК ЦЕХОВОЇ МЕРЕЖІ.....	38
5.1. Розрахунок силової мережі цеху	38
5.2 Розрахунок струмів КЗ	44
5.3. Вибір автоматичних вимикачів	48
5.4. Розрахунок освітлювальної мережі цеху	51
6. . ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ У ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ УСТАНОВКАХ РЕМОНТНО-МЕХАНІЧНОГО ЦЕХУ.....	54
6.1. Аналіз технологічної установки	54
6.2. Енергозбереження в силовому електроприводі	55
6.2.1. Заміна незавантажених електродвигунів.....	55
6.2.2. Заміна вентилятора старого типу	57
6.3. Встановлення індивідуальної компенсації приводу вентиляторів робочої зони	58
6.4. Встановлення частотно-керованого пристрою для регулювання швидкості обертання двигуна	58
ВИСНОВКИ.	60
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	61

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Авдієнко В.І.				Розроблення системи електропостачання ремонтно-механічного цеху	Літера	Аркуш
Перевірів	Савеленко І.В.						6
Н. Контр.						ЕЕ-22з, ЦНТУ	
Затв.	Плешков П.Г						

ВСТУП

Сучасне промислове виробництво характеризується високим рівнем автоматизації, механізації та безперервності технологічних процесів. Важливою ланкою в структурі будь-якого промислового підприємства є ремонтно-механічний цех (РМЦ), який забезпечує працездатність, планово-попереджувальний ремонт та модернізацію технологічного обладнання основного виробництва. РМЦ є багатофункціональним підрозділом, що умовно поділяється на декілька технологічно пов'язаних робочих зон: металообробки, зварювальних та штампувально-пресових робіт. Ефективна та безперебійна робота цеху безпосередньо залежить від надійності, безпеки та економічності системи його електропостачання.

Ремонтно-механічний цех розміщений у двоцеховій цегляній будівлі та оснащений широким спектром універсального і спеціалізованого обладнання, розташованого за технологічним принципом. Парк обладнання включає металообробні верстати (для токарної обробки деталей різних діаметрів і довжини, високоточного фрезерування та розточування отворів за 7-м квалітетом, а також свердління отворів діаметром до 50 мм), пресове силове електрообладнання (кривошипні преси для різних видів штамповок), зварювальну ділянку (машини точкової дії та зварювальні напівавтомати), а також допоміжне обладнання для додаткової обробки деталей. Специфіка такого технологічного комплексу полягає в неоднорідності електричних навантажень та наявності споживачів з різними вимогами до надійності живлення.

Відповідно до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), за ступенем надійності електропостачання споживачі цеху розподіляються на дві категорії: 37,4% навантаження цеху належить до II категорії (переривання живлення яких призводить до значного недовипуску продукції чи простою обладнання), а решта споживачів — до III категорії. Живлення РМЦ здійснюється від комплектного розподільного пункту 10 кВ (КРП-10 кВ) головної знижувальної підстанції

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		
						7

(ГЗП-2) заводу за допомогою кабельних ліній КЛ-10 кВ. Забезпечення раціонального розподілу енергії, оптимізація параметрів мережі 0,4 кВ, а також організація точного обліку активної та реактивної (споживання і генерації) потужності є критично важливими завданнями для підвищення енергоефективності підприємства. Це зумовлює необхідність комплексного проєктування та модернізації системи електропостачання РМЦ.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення високоефективної, надійної та безпечної системи електропостачання ремонтно-механічного цеху промислового підприємства. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати технологічний процес РМЦ, скласти характеристику середовища приміщень та систематизувати споживачів електроенергії за категоріями надійності живлення згідно з ПУЕ.

2. Виконати розрахунок електричних навантажень цеху за робочими зонами (металообробна, зварювальна, штампувально-пресова) та в цілому по цеху.

3. Вибрати число і потужність цехових трансформаторних підстанцій, здійснити вибір магістральних та розподільних електричних мереж, а також комутаційно-захисної апаратури.

4. Запропонувати заходи щодо підвищення ефективності силового вентиляційного електрообладнання за рахунок ЧРП для зниження втрат енергії в цехових мережах.

Практична цінність роботи полягає у створенні готового технічного проєкту системи електропостачання РМЦ, який дозволяє знизити експлуатаційні витрати, підвищити надійність електроживлення відповідальних споживачів II категорії. Запропоновані рішення щодо вибору сучасного захисного та вимірювального обладнання можуть бути успішно використані при реконструкції або модернізації діючих цехів аналогічного профілю.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		8

1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЦЕХОВИХ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ

Одним із фундаментальних етапів під час розроблення схем промислового енергозабезпечення є визначення розрахункового електричного навантаження. Оскільки споживачі переважно поділяються на силову групу та мережі освітлення, для оцінки їх сумарної потужності використовують нормативний метод упорядкованих діаграм.

1.1. Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В

Розрахункове максимальне навантаження ШРА1:

$$P_P = K_M \cdot K_H \cdot P_H = P_{CM} \cdot K_M = 1,8 \cdot 0,1 \cdot 151 = 33 \text{ кВт}$$

Груповий коефіцієнт використання ШРА-1:

$$K_H = \frac{\sum_1^n P_{CM}}{\sum_1^n P_H} = \frac{18,9}{151} = 0,11$$

Ефективне число електроприймачів n_E :

$$m = \frac{P_{H\max}}{P_{H\min}} = \frac{16}{2} = 8$$

$$n_E = \frac{2 \sum P_H}{P_{H\max}} = \frac{2 \cdot 151}{16} = 18$$

Розрахункове реактивне навантаження при $n_E > 10$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		9

$$Q_P = Q_{CM} = 19 \text{ кВт}$$

Середнє реактивне навантаження за найбільш завантажену зміну

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 19 \cdot 1,03 = 19,2 \text{ квар}$$

Розрахунковий максимум повного навантаження ШРА-1:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} = \sqrt{33^2 + 19^2} = 39 \text{ кВА}$$

Результати розрахунку зведені до таблиці 1.1.

1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень

Задачею розрахунку освітлювальної установки є визначення числа та потужності джерела світла.

Вихідні дані: $L_{ц} = 105 \text{ м}$ – довжина цеху

$B_{ц} = 48 \text{ м}$ – ширина цеху

$H_{ц} = 7 \text{ м}$ – висота цеху

$$h = H_{ц} - h_p - h_c = 7 - 0,8 - 0,7 = 5,5 \text{ м}$$

Вибираємо освітлювач ДСП85Б.

$$l_a = 5,5 \cdot 1 = 5,5 \text{ м}$$

При $l_a = 5,5 \text{ м}$ в ряду можливо розташувати 19 світильників.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		10

$$2l = 105 - 5,5 \cdot 19 = 0,5 \text{ м}, l = 0,25 \text{ м}$$

Приймаємо кількість світильників по 9 шт. у ширину, $lv=5,5\text{м}$

Загальна кількість освітлювачів – 171 шт. (19x9).

Знаходимо індекс приміщення:

$$i = \frac{L_{\text{ц}} \cdot B_{\text{ц}}}{h(L_{\text{ц}} + B_{\text{ц}})} = \frac{105 \cdot 48}{5,5(105 + 48)} = 6,2$$

Знаходимо коефіцієнт використання світового потоку при $E_n=300$ лк
знаходимо світовий потік:

$$\Phi_p = \frac{E_n \cdot K_{\text{зан}} \cdot F \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 105 \cdot 48 \cdot 1,15}{171 \cdot 0,82} = 18600$$

$\Phi_n=19000$ лм. Умови вибору: Φ_n лежить у межах - $10 \div 20\%$ Φ_p

Маємо $\Phi_n > \Phi_p$ на 2,2% для ДСП85Б. Встановлена кількість лічильників
задовільняє вимогам освітленості приміщення.

Розрахункова потужність освітлювальної мережі, що живлює.

$$P_{p.o} = P_{\text{уст}} \cdot K_c \cdot K_{\text{пра}} = (171 \cdot 0,25) \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 44,6 \text{ кВт}$$

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \tan \phi = 44,6 \cdot 0,5 = 22,33 \text{ кВар}$$

$$S_{p.o} = \sqrt{P_{p.o}^2 + Q_{p.o}^2} = \sqrt{44,6^2 + 22,33^2} = 49,9 \text{ кВА}$$

Розрахунок освітлення кладової 1.

$$P_{\text{роу}} = 1,2 \cdot 0,6 \cdot 80 = 57,6 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{роу}} = 57,6 \cdot 0,484 = 27,6 \text{ Вар}$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		11

$$P_{\text{роу}} = 1,2 \cdot 0,6 \cdot 400 = 228 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{роу}} = 0,484 \cdot 228 = 139,4 \text{ Вар.}$$

Розрахунок освітлення приміщення начальника цеху

$$L \times B \times H = 9 \times 4 \times 4,$$

$$h_p = 1,5 \text{ м}, h_c = 0$$

$$h = H - h_p - h_c = 4 - 1,5 = 2,5 \text{ м}$$

$$\rho_n = 0,5, \rho_{cm} = 0,3, \rho_p = 0,1$$

$$E_n = 75 \text{ лк}; K_{зан} = 1,5, \eta = 0,45$$

$$\Phi = \frac{E_n \cdot K_{зан} \cdot F \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{75 \cdot 1,5 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 1,1}{2 \cdot 0,45} = 4850 \text{ лк}$$

$$i = \frac{L \cdot B}{h \cdot (L + B)} = \frac{6 \cdot 6}{2,5 \cdot (6 + 6)} = 0,8$$

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_{ном}} = \frac{4850}{2600} = 1,86 \text{ приймаємо } 2 \text{ лампи.}$$

Тип світильника LED T8 з лампами Maximus потужністю 50 Вт з світ-
вим потоком $\Phi_{ном} = 2600 \text{ лк}$, кількість ламп $N = 2$, $P_o = 100 \text{ Вт}$.

$$P_{\text{роу}} = 1,2 \cdot 0,6 \cdot 100 = 187,2 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{роу}} = 187,2 \cdot 0,484 = 90,6 \text{ Вар}$$

Розрахунок для інших приміщень виконується наалогічно.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		12

1.3 Розрахунок електричних в силових мережах вище 1000 В

Під час проектування електричних мереж напругою понад 1000 В у ролі ключових розрахункових вузлів виступають шини 10 кВ. З огляду на це, першочерговим етапом проектування є обґрунтування кількості цехових трансформаторних підстанцій (ТП), вибір одиничної потужності силових трансформаторів та визначення їх оптимальної дислокації на генплані об'єкта.

Для розв'язання завдань щодо кількісного складу, потужності та просторового розміщення ТП базовим інструментом є картограма електричних навантажень підприємства. Аналіз цієї картограми дає змогу оптимізувати схеми електропостачання тих цехів, де спорудження окремої підстанції є економічно недоцільним. Живлення таких дрібних об'єктів організовують на напрузі 0,4 кВ від підстанцій суміжних цехів, обов'язково контролюючи, щоб рівень відхилення напруги на клеммах найвіддаленіших споживачів не виходив за межі, регламентовані чинними стандартами щодо якості електроенергії.

Розрахункові втрати в трансформаторах

$$\Delta P_{xx} = 2,45 \text{ кВт}$$

$$I_{xx} = 1,4\%$$

$$\Delta P_{кз} = 12,2 \text{ кВт}$$

$$U_{к\%} = 5,5\%$$

$$\Delta P_m = n \cdot \Delta P_{xx} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{кз} \cdot K_3^2 = 1 \cdot 2,45 + 1 \cdot 12,2 \cdot 0,68^2 = 8,09 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q = n \cdot \left(\frac{I_{xx}}{100} \cdot S_H + \frac{U_{к\%}}{100} \cdot S_H \cdot K_3^2 \right) = 1 \cdot \left(\frac{1,4}{100} \cdot 1000 + \frac{5,5}{100} \cdot 1000 \cdot 0,68^2 \right) = 39,43 \text{ кВт}$$

Результати розрахунку навантаження зведені до таблиці 1.2.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		13

Таблиця 1.1. Розрахунок силових електричних навантажень в мережі 0,4 кВ

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кіл	Встановлена по-		m	Кв	cos	tg	Середнє навантаження за зміну, кВт		ne	Км	Розрахункова потужність		
			тужність, кВт						Pcp	Qcp			Pr	Qp	Sp
			Одного	Сумарна											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	<u>РМЦ</u>														
	<u>ШРА-1</u>														
	Токарно-гвинтонарізний	2	7,0 - 11	22,0		0,2	0,7	1,2	3,7	4,4					
	Вертикально-свердлильний	8	2,8 - 5	29,2		0,1	1,0	0,3	3,2	1,1					
	Вертикально-врезерний з ЧПУ	2	5,0 - 8	15,0		0,1	0,7	1,2	2,1	2,5					
	Вертикально-фрезерний	5	5,0 - 8	37,5		0,1	0,8	0,8	4,5	3,4					
	Спец. Агрегатний	2	11,0 - 16	32,6		0,1	0,5	2,0	3,6	7,1					
	Вертикально-різбонарізний	1	2,0 - 5	4,5		0,1	0,8	0,8	0,5	0,4					
	Різбонакатний	2	2,0 - 10	9,9		0,1	0,9	0,5	1,2	0,6					
	Разом	22	2,0 - 16	151	8,0	0,1	0,5	1,03	18,9	19	18,0	1,8	33	19	39
	<u>ШРА-2</u>														
	Вертикально-свердлильний	6	2,8 - 5	20,8		0,3	0,9	0,6	6,2	3,9					
	Токарно-гвинтонарізний	16	11,0 - 11	176,0		0,7	1,0	0,3	123,2	40,5					
	Вертикально-фрезерний	5	7,5 - 8	37,5		0,4	0,9	0,6	13,1	8,1					

	Apk.
	15

Продовження таблиці 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Шпоночно-фрезерений	1	1,0 - 3	3,4		0,1	0,9	0,5	0,4	0,2					
	Вертикально-свердлильний	3	2,8 - 5	11,8		0,1	0,9	0,5	1,5	0,7					
	Горизонтально-фрезерний	4	8,7 - 9	34,8		0,1	0,8	0,8	4,2	3,1					
	Вертикально-фрезерний	5	7,5 - 8	37,5		0,1	0,8	0,8	4,9	3,7					
	Бесцентрово-шліфувальний	1	19,0 - 20	37,5		0,1	0,9	0,6	4,5	2,8					
	Шліцфрезерний автомат	2	4,0 - 8	7,5		0,1	0,9	0,6	1,0	0,6					
	Разом	60	1,0 - 20	491	####	0,2	0,6	0,9	86	73	50	1,4	116	73	137
	ШРА-4														
	Вертикально-свердлильний	9	2,8 - 8	38,4		0,1	1,0	0,3	4,2	1,4					
	Вертикально-різбонарізний	5	1,4 - 5	19,4		0,1	0,7	1,0	2,3	2,4					
	Алмазно-розточний	2	4,0 - 5	9,9		0,1	0,8	0,8	1,1	0,8					
	Токарно-гвинтонарізний	6	10,0 - 10	60,0		0,1	0,8	0,8	7,8	6,3					
	Горизонтально-фрезерний	2	8,7 - 9	17,4		0,1	0,8	0,8	2,1	1,7					
	Вертикально-фрезерний	8	7,5 - 9	62,4		0,1	0,8	0,8	8,1	6,1					
	Фрезерно-центрувальний	2	4,0 - 8	8,3		0,1	0,8	0,8	1,1	0,9					
	Круглошліфувальний	2	3,5 - 8	7,5		0,1	0,9	0,6	0,9	0,6					

Продовження таблиці 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Плоскошліфувальний	2	2,0 - 4	4,0		0,1	0,8	0,8	0,5	0,4					
	Вальценавивний	2	5,0 - 7	11,0		0,1	0,9	0,5	1,4	0,8					
	Машино точкового зварювання	9	50,0 - 75	630,0		0,3	0,6	1,3	201,6	268,8					
	Прес кривошипний	3	4,5 - 5	13,7		0,4	0,6	1,3	4,8	6,4					
	Разом	52	1,4 - 75	882	52	0,3	0,3	1,3	236	296	24,0	1,4	330	296	443
	всього по цеху	178	0,6 - 75	1967	125	0,3	0,5	0,9	549	503	52,0	1,2	685	503	850

Таблиця 1.2. Розрахунок силових електричних навантажень в мережі вище 1000 В

[illegible]

Продовження таблиці 1.2

№	Назва вузлів наванта- ження та груп електроприй- мачів	Кіл.	Встановлена по- тужність, кВт				m	Кв	cos	tg	Середнє навантаження за зміну		ne	Км	Розрахункова потужність		
			Одного			Сумарна					Рср	Qср			Рр	Qр	Sp
	силова	178,0	0,6	-	75,0	1966,6	125,0	0,3	0,5	0,9	549,1	503,2	52,0	1,2	685,3	503,2	850,2
	освітлювальна														45	23	
	Всього														730	526	900
	БСК																
	З урахуванням БСК														730	526	
	Втрати в трансформаторі S=		1000	1,0											8	39	
	Всього на шинах 10 кВ цеху														738	565	930

1.4 Побудова графіків електричних навантажень цеху

Процеси проектування та подальшого функціонування промислових систем енергозабезпечення базуються на аналізі трьох ключових параметрів: активної P , реактивної Q та повної S потужностей. Використання графіків електричних навантажень об'єкта дозволяє точно оцінити обсяги споживання енергії, обґрунтовано підібрати потужність живильних джерел та побудувати максимально ефективну структуру електропостачання. Форма добових і річних графіків є специфічною для кожної галузі, оскільки вона безпосередньо залежить від особливостей технологічного циклу. Зокрема, добова зміна повної потужності слугує основою для розрахунку навантажувальної здатності силових трансформаторів на підстанціях (ТП, ГПП), а також для визначення екстремальних (пікових та мінімальних) режимів роботи, що необхідно для аналізу коливань та втрат напруги.

Річні витрати активної і реактивної енергії в умовах проектування визначаються за виразами:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{679,8^2 + 503,2^2} = 846 \text{ кВА}$$

$$W_r^p = W_r^p + W_r^a = (1531936 + 861544,53) + (304890,3 + 191377,29) = 2889748,2 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$V_r^p = V_r^p + V_r^a = (1050379,68 + 637730,52) + (140644,4 + 88281,4) = 1917036 \text{ кВар} \cdot \text{год}.$$

Кількість годин використання максимуму навантаження:

$$T_m = \frac{\sqrt{W_r^2 + V_r^2}}{S_p} = \frac{\sqrt{2889748^2 + 1917036^2}}{846} = 4100 \text{ год}$$

Час максимальних втрат:

$$\tau_{нб} = \left(0,124 + \frac{T_m}{10^4} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4100}{10^4} \right)^2 = 1902 \text{ год}$$

Результати розрахунків наведені нижче.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		19

Таблиця 1.3. Активне навантаження

Години	Робочий період		Вихідний період	
	Зима	Літо	Зима	Літо
1	204	173	238	202
2	238	173	238	202
3	204	173	238	202
4	204	173	238	202
5	204	173	238	202
6	238	173	238	202
7	306	208	238	202
8	408	324	136	116
9	612	520	136	116
10	680	578	136	116
11	646	578	136	116
12	544	439	136	116
13	578	462	136	116
14	612	520	136	116
15	612	439	136	116
16	578	439	136	116
19	578	405	136	116
18	544	405	238	202
19	510	347	238	202
20	442	405	238	202
21	462	405	238	202
22	442	289	238	202
23	306	231	238	202
24	272	173	238	202
Wi	10421	8205	4691	3987

Таблиця 1.4. Реактивне навантаження

Години	Робочий період		Вихідний період	
	Зима	Літо	Зима	Літо
1	151	128	101	86
2	151	128	101	86
3	151	128	101	86
4	151	128	101	86
5	151	128	101	86
6	151	128	101	86
7	181	154	101	86
8	282	240	76	64
9	453	385	76	64
10	503	428	76	64
11	503	428	76	64
12	382	325	76	64
13	403	342	76	64
14	453	385	76	64
15	382	325	76	64
16	382	325	76	64
19	352	299	76	64
18	352	299	101	86
19	302	257	101	86
20	352	299	101	86
21	352	299	101	86
22	252	214	101	86
23	201	171	101	86
24	151	128	101	86
Wi	7145	6074	2164	1839

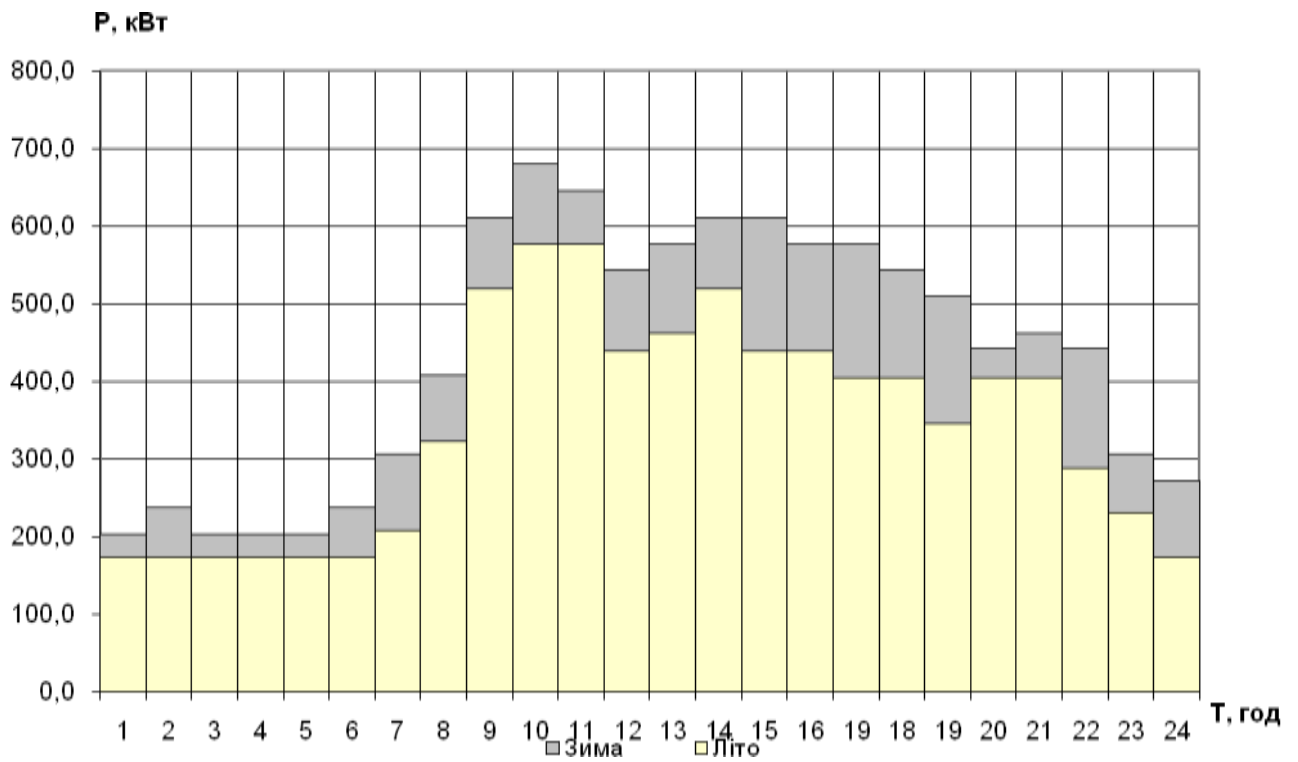


Рис 1.1. Графік активної потужності 5 роб. Днів

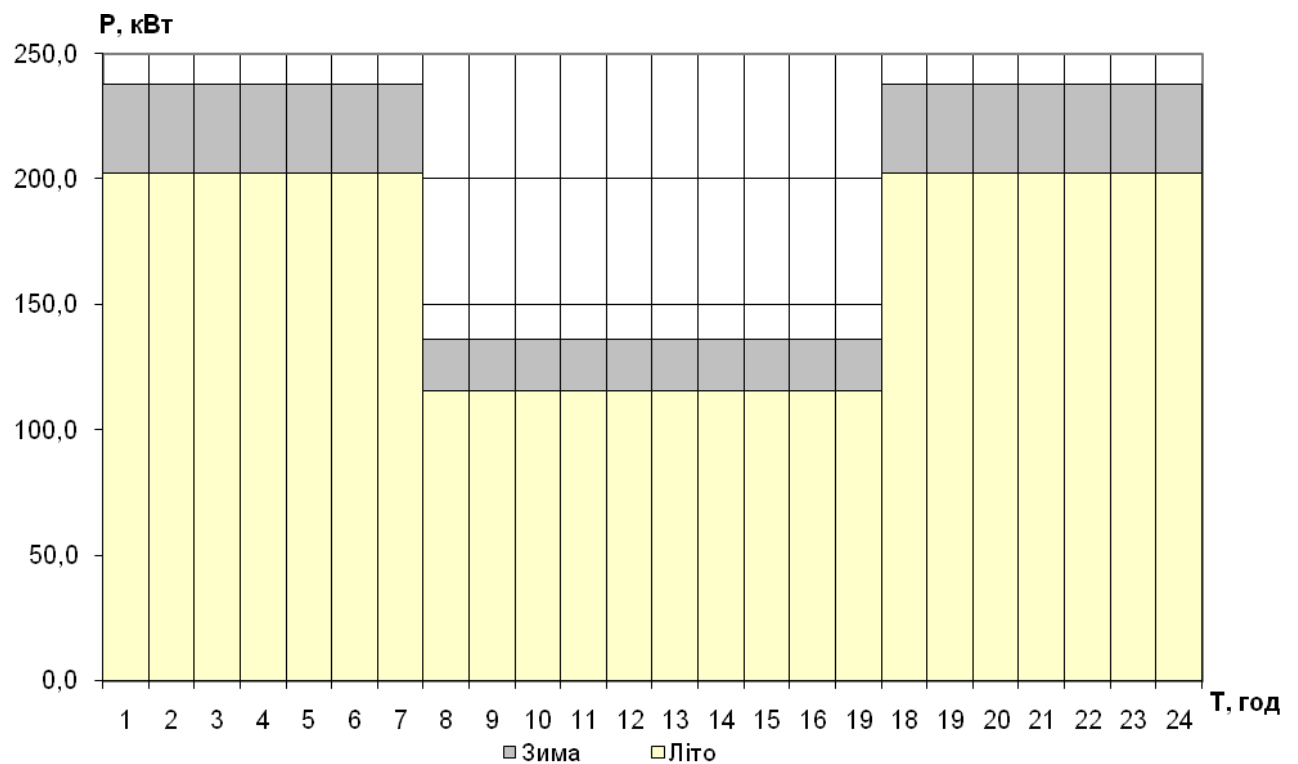


Рис 1.2. Графік активної потужності 2 вих. днів

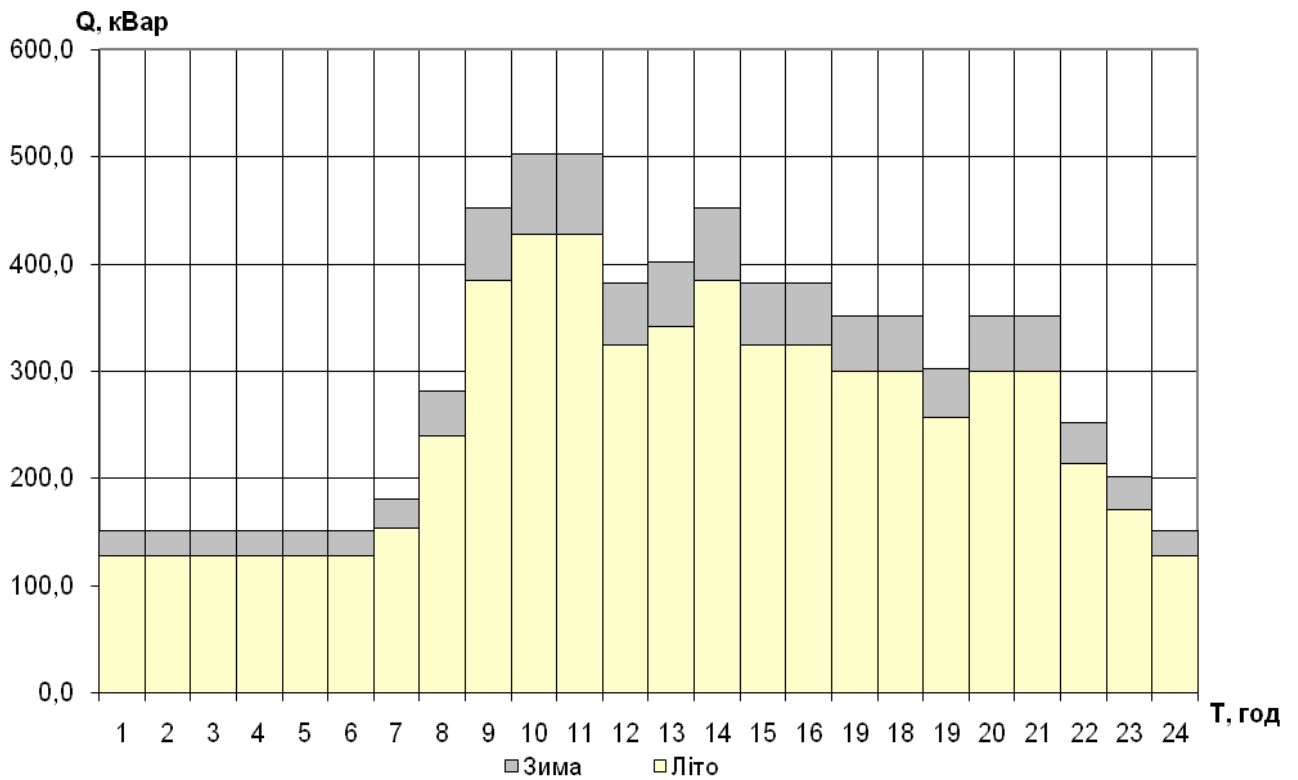


Рис 1.3. Графік реактивної потужності 5 роб. днів

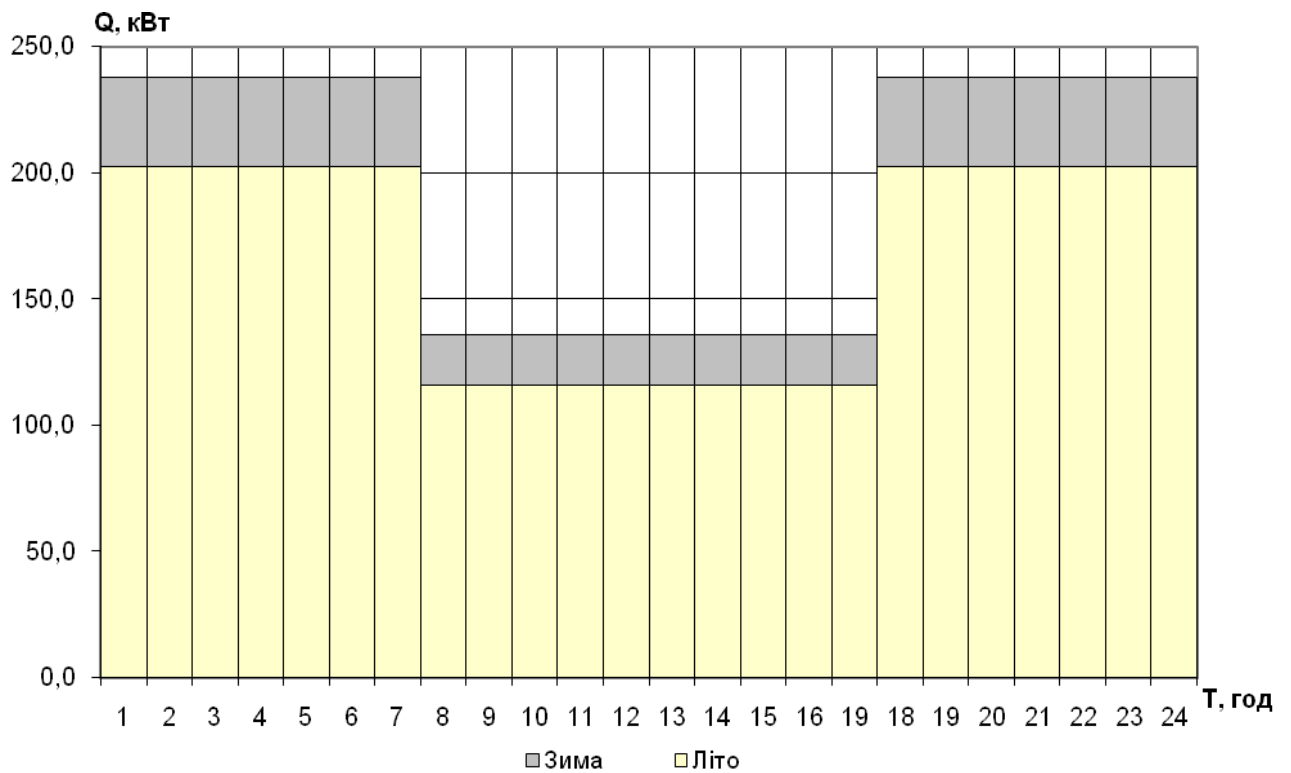


Рис 1.4. Графік реактивної потужності 2 вих. днів

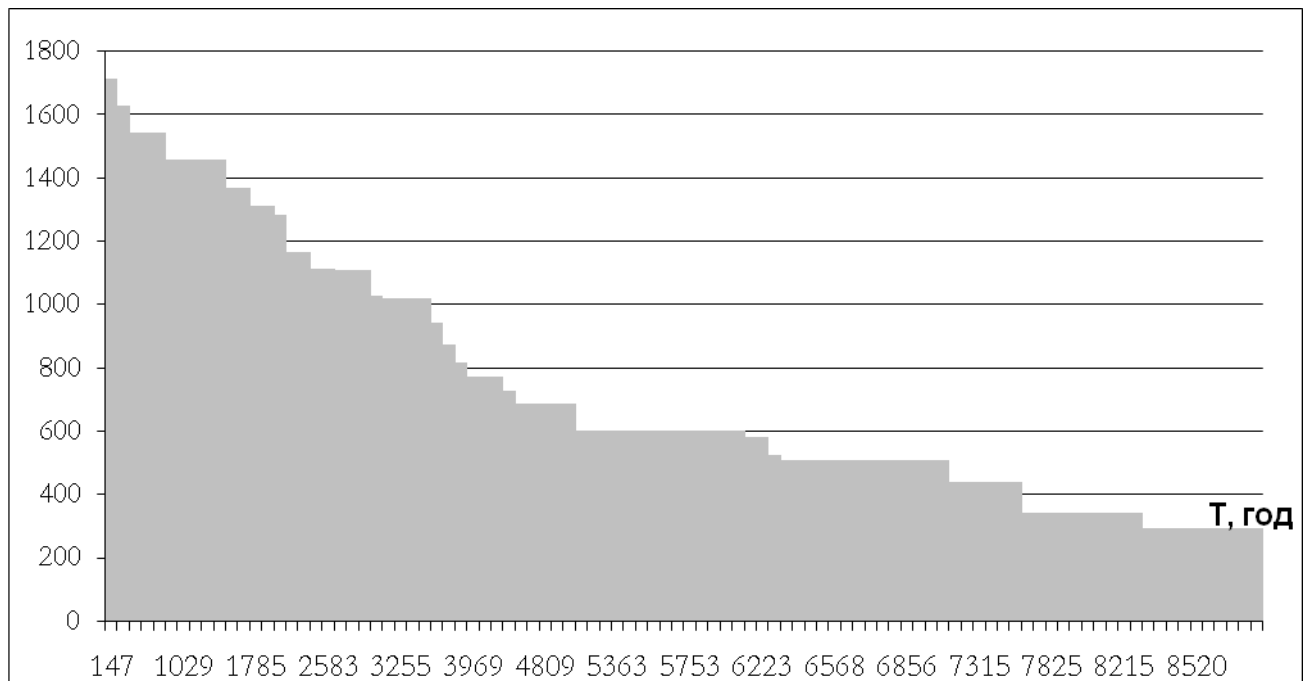


Рис 1.5. Графік активної потужності 8760 діб

2. ВИБІР НАПРУГИ І ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Обґрунтування величини напруги для живильних і розподільчих електричних мереж здійснюється на основі аналізу сумарної споживаної потужності, відстані до енергоджерела, параметрів напруги на межі балансової належності, а також одиничної потужності великих електроприймачів.

2.1. Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання

Живлення цеху здійснюється від ГПП напругою заводу, який знаходиться на відстані приблизно 0,156 км. Живлення запропоновано виконати кабельними лініями напругою 10 кВ. Так як в цеху встановлений один трансформатор, то можливий лише один варіант живлення трансформатора радіальною лінією. В такому випадку порівняння варіантів зовнішнього електропостачання не виконуємо.

Конфігурація схем зовнішнього енергозабезпечення обирається за критеріями техніко-економічної доцільності та експлуатаційної надійності, причому вимоги до надійності безпосередньо диктуються категорійністю споживачів об'єкта. Наявність у структурі підприємства щонайменше одного електроприймача першої категорії вимагає організації живлення не менше ніж від двох незалежних та взаєморезервованих джерел.

У реальних умовах проектування кількість альтернативних рішень зазвичай обмежується двома-трьома варіантами, що зумовлено рівнями напруг у доступних точках підключення до регіональної енергосистеми. Найбільш раціональний варіант схеми визначається шляхом порівняльного техніко-економічного аналізу.

Головним критерієм під час вибору топології мережі, номінальної напруги, кількості та номінальної потужності силових трансформаторів, площі

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		25

перерізу кабельних ліній, а також типу й локації засобів компенсації реактивної потужності є мінімізація приведених витрат. В інженерній економіці та енергетиці показник мінімальних приведених витрат розраховується за такою базовою залежністю:

$$Z_{\text{пр}} = C + E_n \cdot K + Z_{\text{зб}} \Rightarrow \min$$

Загальна сума капіталовкладень в кожному окремому випадку визначається за укрупненими показниками вартості всіх елементів схеми.

2.2. Вибір схеми внутрішнього електропостачання цеху

Для забезпечення живлення цехового електрообладнання можуть використовуватися силові пункти (результати розрахунку їхніх навантажень наведено в табл. 2.7) або шинопроводи. Схеми електропостачання для обох випадків представлені на рис. 2.3–2.5.

Під час проектування порівнюються два варіанти:

варіант №1 — розподіл енергії за допомогою шинопроводів;

варіант №2 — живлення споживачів від розподільних силових пунктів.

Розрахунковий струм лінії, що живить СП:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{21,3}{1,73 \cdot 0,38} = 32,4 \text{ А}$$

Розрахунковий переріз кабелю:

$$F_p = \frac{I_p}{j_{\text{ек}}} = \frac{32,4}{1,2} = 26,9 \text{ мм}^2$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		26

приймаємо для живлення СП 1 кабель марки АПВГ-4 (4х35) з допустимим струмом $I_{\text{доп}} = 75 \text{ А}$

Виконуємо перевірку за нагрівом розрахунковим струмом:

$$32,4 > 1 \cdot 75 \text{ А}$$

Умова виконується, даний кабель задовольняє по навантаженню.

Перевірка по втраті напруги:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_p}{U_n} (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi) =$$

$$1,73 \cdot 100 \cdot 32,4 / 380 (0,95 \cdot 0,8 + 0,06 \cdot 0,59) = 0,11 \% < 5\%.$$

Вибраний переріз задовольняє нормованому значенню втрати напруги.

Від силового пункту СП1 живиться 12 споживачів вибираємо силовий пункт типу ПР- 9332. Вартість силового пункту складає 9000 грн.

Розрахунок інших елементів схеми приведемо в таблиці 2.1.

Втрати потужності та енергії в лінії:

$$\Delta \mathcal{E}_1 = \Delta P_{\text{Л}} \cdot \tau = 0,059 \cdot 1902 = 112,18452 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\Delta P_{\text{Л}} = \Delta P_{1\text{км}} \cdot l_{\Sigma} \cdot K_3^2 = 8 \cdot 0,032 \cdot 0,5^2 = 0,05898 \text{ кВт}$$

Сумарна довжина кабельної лінії

$$l_{\Sigma} = l \cdot n_{\text{л}} = 0,032 \cdot 1,0 = 0,03 \text{ км}$$

$n_{\text{л}}$ - кількість кабельних ліній в одному ланцюгу, шт

$$C_{\text{втрат}} = \Delta \mathcal{E}_1 \cdot C_0 = 112,185 \cdot 8 = 814061,4 = 814 \text{ тис. грн.}$$

де C_0 – вартість 1 кВт·год електроенергії; згідно з діючими тарифами $C_0 = 8$ грн/кВт·год.

Для інших СП розрахунок приведено в таблиці 2.2.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		
						27

Таблиця 2.1. Вибір силової мережі

№ КЛ	Sp, кВА	n	Ip,	Fек, мм ²	Fст, мм ²	Марка кабеля	Ідоп, А	Кз
СП1	21	1	32	27	35	АПВГ(4х 35)	115	0,3
СП2	33	1	50	42	50	АПВГ(4х 50)	140	0,4
СП3	11	1	16	14	25	АПВГ(4х 25)	90	0,2
СП4	26	1	39	33	35	АПВГ(4х 35)	115	0,3
СП5	31	1	47	39	50	АПВГ(4х 50)	140	0,3
СП6	33	1	50	42	50	АПВГ(4х 50)	140	0,4
СП7	37	1	56	47	50	АПВГ(4х 50)	140	0,4
СП8	19	1	29	25	25	АПВГ(4х 25)	90	0,3
СП9	8	1	13	10	16	АПВГ(4х 16)	55	0,2
СП10	52	1	79	66	70	АПВГ(4х 70)	165	0,5
СП11	20	1	30	25	35	АПВГ(4х 25)	90	0,3
СП12	22	1	33	27	35	АПВГ(4х 35)	115	0,3
СП13	12	1	19	15	16	АПВГ(4х 16)	55	0,3
СП14	181	2	138	115	120	АПВГ(4х 120)	240	0,3
СП15	31	3	16	13	16	АПВГ(4х 16)	55	0,3
СП16	26	4	10	8	10	АПВГ(4х 10)	38	0,3
СП17	20	5	6	5	6	АПВГ(4х 6)	26	0,2
СП18	275	6	70	58	70	АПВГ(4х 70)	165	0,1
СП19	26	7	6	5	6	АПВГ(4х 6)	26	0,2

Таблиця 2.2 Розрахунок втрат електроенергії в мережі

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		28

№ КЛ	Sp, кВА	n	Ip, кА	Kз	l,км	ΔРл, кВт	ΔЕл, кВт*год	Со, грн/кВт	Свтр, т. грн
СП1	21	1,0	32	0,300	0,032	0,100	184	8,000	1,468
СП2	33	1,0	50	0,400	0,045	0,240	463	8,000	3,703
СП3	11	1,0	16	0,200	0,070	0,060	110	8,000	0,878
СП4	26	1,0	39	0,300	0,085	0,370	711	8,000	5,686
СП5	31	1,0	47	0,300	0,090	0,420	794	8,000	6,355
СП6	33	1,0	50	0,400	0,018	0,100	187	8,000	1,493
СП7	37	1,0	56	0,400	0,032	0,210	407	8,000	3,254
СП8	19	1,0	29	0,300	0,050	0,130	255	8,000	2,036
СП9	8	1,0	13	0,200	0,052	0,010	15	8,000	0,123
СП10	52	1,0	79	0,500	0,062	0,650	1240	8,000	9,922
СП11	20	1,0	30	0,300	0,040	0,100	196	8,000	1,572
СП12	22	1,0	33	0,300	0,030	0,090	176	8,000	1,404
СП13	12	1,0	19	0,300	0,010	0,000	7	8,000	0,052
СП14	181	2,0	138	0,300	0,060	0,490	941	8,000	7,531
СП15	31	3,0	16	0,300	0,070	0,050	98	8,000	0,786
СП16	26	4,0	10	0,300	0,080	0,040	84	8,000	0,674
СП17	20	5,0	6	0,200	0,085	0,050	92	8,000	0,736
СП18	275	6,0	70	0,100	0,095	0,130	247	8,000	1,976
СП19	26	7,0	6	0,200	0,095	0,100	183	8,000	1,467
Всього							4743		51,116

Розрахунок техніко-економічних показників для двох варіантів приведено в таблицях 2.3-2.5

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					29

Таблиці 2.3. Розрахунок капітальних вкладень по варіантах

№ вар.	Найменування елемента схеми	Одиниця	Кіль- кість	Вартість одиниці, тис.грн	Вартість всього, тис.грн
I	ШМА-73УЗ	шт.	8х3	8	64
	Розподільчі шинопрово- ди				
	ШРА-73-250	шт.	30х3	12	360
	ШРА-73-630		30*3	13	390
	ШРА-73-250		34*3	12	408
	ШРА-73-630		36*3	13	468
	Всього				1690
II	Силові пункти ПР-9332	шт.	19	61	1159
	Кабельна лінія:			0	0
	АПВГ (4х120)	км	0,06	440	26,4
	АПВГ (4х70)		0,157	360	56,52
	АПВГ (4х50)		0,185	340	62,9
	АПВГ (4х35)		0,187	320	59,84
	АПВГ (4х25)		0,12	280	33,6
	АПВГ (4х16)		0,132	200	26,4
	АПВГ (4х10)		0,08	180	14,4
	АПВГ (4х6)		0,18	160	28,8
	Всього				1467

Таблиця 2.4. Розрахунок поточних витрат по варіантам

№	Найменування елемента схеми	К _і , тис. грн.	Р _{аі} , %	С _{аі} , тис. грн.	Р _{эі} , %	С _{эі} , тис. грн.	С _і , тис. грн.
I	Шинопроводи	64	5	3,2	5	3,2	6,4
	Шинопроводи ШРА	1095	5	54,75	5	54,75	109,5
	Всього			57,95		57,95	115,9
II	Силові пункти ПР-9332	1159	15	173,85	5	57,95	231,8
	Кабельні лінії	1467	5	73,35	5	73,35	146,7
	Всього			247,2		131,3	378,5

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		30

Таблиця 2.5. Приведені витрати по варіантам

Показники	Варіант	
	1	2
Капіталовкладення	1159	1467
Поточні затрати	115	375
Вартість втрат електроенергії	214	259
Приведені затрати	491	508
% співвідношення затрат	100	92

Як видно, щя приведеними затратами варіанти практично рівноцінні. Тому вибір варіанту живлення РМЦ приймаємо виходячи з конструктивних особливостей будівлі і розташування обладнання по цеху. Остаточню приймаю варіант живлення шинопроводами.

3. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Одним з загальних питань, розв'язуючих, як при проектуванні так і при експлуатації систем промислового електропостачання про компенсацію реактивної потужності, включає в себе вибір та розташування джерел реактивної потужності в системі електропостачання. Передача реактивної потужності по лініям і трансформаторам не вигідна, тому що знижує ККД систем електропередачі і якість електропостачання по наступним причинам:

- а) збільшення втрат активної потужності в лініях, трансформаторах, генераторах пов'язані з протіканням реактивних струмів;
- б) зниження пропускної здібності елементів мережі, включаючи трансформатори;
- в) підвищення втрат напруги в елементах мережі і зниження рівнів напруг у споживачів.

Для любого режиму роботи електричної мережі завжди є баланс реактивної потужності, тобто сумарна потужність, що генерується дорівнює сумарній потужності, що споживається. В залежності від використання тих чи інших джерел баланс реактивної потужності може бути забезпечений різними засобами.

Загальна структура компенсації реактивної потужності складає три ієрархічні рівня:

- I. – мережі енергосистеми;
- II. – розподільчі мережі високої напруги промислових підприємств;
- III. – цехові електричні мережі.

Рішення задачі на рівні I дозволяє на основі оптимізації режиму роботи електросистеми визначити економічно визначну величину реактивної потужності, яку може передати система підприємству в години її максимізації.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		
						32

Рівень II визначає рішення задачі компенсації реактивної потужності у високовольтних розподільчих мережах промислових підприємств, враховуючи шини напругою 0,4 кВ цехових ТП.

Задача рівня III включає в себе розподілення джерел реактивної потужності в цеховій мережі 0,4 кВ.

3.1. Розрахунок балансу реактивної потужності

$$P_H = 724,73 \text{ кВт}$$

$$Q_H = 525,79 \text{ квар}$$

Сумарне споживання по цеху:

$$P_p = P_v + P_H + \Delta P_{тр} = 0 + 724,73 + 8,09 = 732,82 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_v + Q_H + \Delta Q_{тр} = 0 + 525,79 + 39,43 = 565,22 \text{ квар}$$

Економічно доцільна потужність, що може бути передана від системи:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \phi_3 = 732,82 \cdot 0,15 = 109,92 \text{ квар}$$

Тоді сумарна потужність компенсуючих пристроїв визначається з умови балансу реактивної потужності:

$$Q_{ку} = Q_p - Q_e = 565,22 - 109,92 = 455,3 \text{ квар}$$

Визначаємо мінімальну кількість трансформаторів по (5.4):

$$N_0 = P_H / (K_3 \cdot S_{H \text{ тр}}) = 724,73 / (0,7 \cdot 1000) = 1,03533$$

Приймаємо $N_0 = 1$

Розглянемо варіанти компенсації при кількості трансформаторів $N=N_0$, $N=N_0+1$, $N=N_0+2$

Варіант I: $N = N_0 = 1$

Визначаємо реактивну потужність, яка може бути передана з мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ через цехові трансформатори:

$$Q_{\text{н}} = \sqrt{(n \cdot S_m \cdot K_3)^2 - P_{\text{н}}^2} = \sqrt{(1 \cdot 1000 \cdot 0,7)^2 - 724,73^2} = 0 \text{ квар}$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		33

Потужність компенсуючих пристроїв які потрібно встановити в мережі 0,4 кВ визначаємо з умови балансу реактивної потужності на шинах ТП:

$$Q_{\text{кн}} = Q_{\text{н}} - Q_{\text{п}} = 525,79 - 0 = 525,79 \text{ квар}$$

Приймаємо до встановлення $Q_{\text{кн}} = 534 \text{ квар}$

Активні втрати потужності при передачі реактивної енергії через трансформатори цехових ТП:

$$\Delta P_{\text{ТП}} = Q_{\text{п}}^2 * R_{\text{ек}} / U_{\text{н}}^2 = -8,21^2 * 860 / 10 = 0,001 \text{ кВт}$$

$$\text{де } R_{\text{ек}} = (D P_{\text{кз}} * U_{\text{н}}^2) / (N_{\text{тр}} * S_{\text{нтр}}^2) = (8,6 * 10^2 / (1 * 1000)) = 860,0 * 10^{-6} \text{ кОм}$$

Втрати активної потужності у низьковольтних батареях конденсаторів:

$$\Delta P_{\text{кн}} = \Delta P_{\text{пит}} * Q_{\text{кн}} = 0,003 * 534 = 1,602 \text{ кВт}$$

Вартість низьковольтних конденсаторних батарей:

$$K_{\text{кн}} = N_{\text{бк}}^{0,4} i K_{\text{кк}}^{0,4} i = 2 * 80,52 * 23,5 = 208 \text{ тис. грн.}$$

Вартість комплектних трансформаторних підстанцій:

$$K_{\text{КТП}} = N_{\text{ТП(1)}} * K_{\text{ТП(1)}} + N_{\text{ТП(2)}} * K_{\text{ТП(2)}} = 1 * 585 = 585 \text{ тис. грн.}$$

Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності:

$$Z_1 = E_{\text{н}} * (K_{\text{кн}} + K_{\text{кв}} + K_{\text{КТП}}) + (\Delta P_{\text{кн}} + \Delta P_{\text{кв}} + \Delta P_{\text{ТП}}) * C_0 * \tau = 0,12 * (208 + 0,00 + 585) + (1,602 + 0,00 + 0,001) * 8 * 1902 = 1079,5 \text{ тис. грн.}$$

Розрахунки інших варіантів виконуються аналогічно, результати зведено до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Баланс реактивної потужності.

Показники	Варіант I	Варіант II	Варіант III
Потужність КП в мережі 0,4 кВ	534,0	50,0	0,0
Потужність КП в мережі 10 кВ	0,0	450,0	450,0
Споживання реактивної потужності	109,9	109,9	109,9
Всього за умовою баланса	643,9	609,9	559,9
Затрати на компенсацію	1080	1409	1459

Таким чином, проведений розрахунок показав, що І варіант більш вигідний. Компенсація реактивної потужності найбільш доцільна на шинах КТП 0,4 кВ. Встановлюємо КП типу 2×KPM-0,38-200-50У3 та 2×KPM-0,38-67У3.

3.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

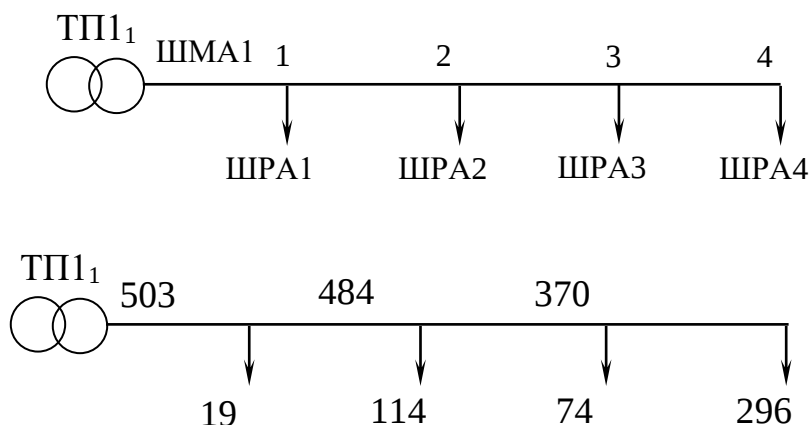
Потужність компенсуючих пристроїв склала $Q_{\text{КП}} = 534$ кВар, її розподіляємо по магістральному шинопроводу ТП пропорційно їх некомпенсованому реактивному навантаженню на шинах 10 кВ.

Якщо основні реактивні навантаження шинопроводу приєднанні тільки до другої його половини, встановлюють тільки один КП. Точку її підключення визначають із умови:

$$Q_f > \frac{Q_{\text{нко}}}{2} > Q_{f+1}, \quad (3.1)$$

Таблиця 3.2 Результати перевірки шинопроводів за умовою (3.1)

Вузол	Виконання умов			
	1	2	3	4
ШМА	$503,2 > \frac{534}{2} < 438,8$ умова не виконується	$438,8 > \frac{534}{2} < 369,9$ умова не виконується	$369,9 > \frac{534}{2} > 296,3$ умова не виконується	$369,9 > \frac{534}{2} > 0$ умова виконується



Розрахунок компенсуючих пристроїв показав, необхідно встановлювати лише біля ШРА4, тому приймаємо остаточно для компенсації батарею конденсаторів KPM-0,4-536-67У3 з встановленням на відгалуженні до ШРА4.

4. ВИБІР КІЛЬКОСТІ, ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЦЕХОВИХ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ

Визначаємо кількість трансформаторів при прийнятій потужності трансформатора $S_{тр} = 1000$ кВА.

$$N_{тр} = \frac{S_p}{(k_3 \cdot S_{н.тр})} = \frac{736,7}{(0,7 \cdot 1000)} = 1,05$$

Приймаємо для встановлення трансформатор $S_{н.тр} = 1000$ кВА.

Номінальна потужність трансформаторів визначається по розрахунковому навантаженні за найбільш завантажену зміну.

$$S_{PT} = \frac{S_{P.M}}{(N \cdot k_3)}$$

$$S_{o.mn2} = \frac{S_{PM}}{(N \cdot k_3)} = \frac{863,3}{2 \cdot 0,7} = 616,6 \text{ кВА}$$

Отримані потужності округлюємо до найближчої стандартної потужності трансформаторів, при цьому кількість номіналів потужностей повинна бути мінімальною.

Таким чином, на цехових трансформаторних підстанціях приймаємо до установки трансформатори $2 \times \text{ТМЗ-630}$ кВА.

Таблиця 4.1 Вибір трансформаторів ТП-10/0,4 кВ

Місце встановлення ТП	Тип розміщення	Тип ТП	Кількість та тип тр-рів	S, кВА	K ₃	K ₃ ^{макс}
РМЦ	Вбудована	КТП 1×1000 кВА	ТМЗ-1000/10	737	0,7	0,93

5. ВИБІР СХЕМИ ТА РОЗРАХУНОК ЦЕХОВОЇ МЕРЕЖІ

Цехові мережі проектуються за радіальними, магістральними та змішаними схемами. Основою служать розрахункові навантаження цеху, визначені в розділі 1.

5.1. Розрахунок силової мережі цеху

Комплектні шинопроводи типу ШМА для головних магістралей вибирають по розрахунковому струму трансформатора, до якого підключена магістраль.

$$I_{н\text{ шма}} = 1065 \text{ А}$$

Вибираємо магістральні шинопроводи ШМА73-У3 з номінальним струмом $I_n = 1600 \text{ А}$, $I_{уд} = 70 \text{ кА}$, $r_o = 0,031 \text{ мОм/м}$, $x_o = 0,022 \text{ мОм/м}$.

Вибір розподільчих шинопроводів ШРА. ШРА-1: $I_p = 56 \text{ А}$, вибираємо ШРА73 с $I_n = 250 \text{ А}$;

Вибір та параметри шинопроводів приведі в таблиці 5.1

Таблиця 5.1 Опір ділянок ШМА та ШРА

Тип обладнання	Sp, кВА	Ip, А	Марка шинопроводу	Параметри шинопроводу			Довжина L, км	Розрахункові дані, Ом		
				In	Ro	Хo		RΣ	XΣ	ZΣ
ШМА1	737	1065	ШМА-73У3	1600	0,031	0,017	0,02	0,001	0,0004	0,0008
ШРА1	39	56	ШРА-73-250	250	0,210	0,100	0,08	0,017	0,008	0,019
ШРА2	285	412	ШРА-73-630	630	0,100	0,130	0,09	0,009	0,011	0,014
ШРА3	148	215	ШРА-73-250	250	0,210	0,100	0,1	0,02	0,0100	0,023
ШРА4	442	638	ШРА-73-630	1000	0,100	0,130	0,11	0,011	0,014	0,017

Допустиму втрату напруги вибираємо за довідниковою літературою і зводимо до таблиці 5.2

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		37

Таблиця 5.2. Втрати напруги в розподільчих шинопроводах

Тип обладнання	Рр, кВА	Qр, кВА	Марка шинопроводу	L, км	ΔU , %
ШРА1	33	19	ШРА-73-250	0,08	3,04
ШРА2	261	114	ШРА-73-630	0,09	3,03
ШРА3	129	74	ШРА-73-250	0,10	2,50
ШРА4	327	296	ШРА-73-630	0,11	3,38
ШМА	736	33	ШМА-73У3	0,02	3,14

Вибір живлючих станки кабелів. Розподільчу мережу цеху виконуємо кабелем марки АПВ.

Таблиця 5.3 Вибір перерізу розподільчих кабелів

P_n , кВт	I_p , А	$F_{розр}$, мм ²	$F_{ст}$, мм ²	n	$I_{доп}$, А	$K_3 * I_3$	$K_{пр} * I_{доп}$	$F_{мін}$, мм ³	ΔU_i , %
ШРА-1									
11	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,0
7,5	10,3	8,6	10,0	1,0	60,0	27,5	72,0	4,0	0,1
7,5	10,3	8,6	10,0	1,0	60,0	27,5	72,0	4,0	0,1
7,5	10,3	8,6	10,0	1,0	60,0	27,5	72,0	4,0	0,1
7,5	10,3	8,6	10,0	1,0	60,0	27,5	72,0	4,0	0,1
7,5	10,3	8,6	10,0	1,0	60,0	27,5	72,0	4,0	0,0
7,5	10,3	8,6	10,0	1,0	60,0	27,5	72,0	4,0	0,1
7,5	10,3	8,6	10,0	1,0	60,0	27,5	72,0	4,0	0,0
16,3	22,3	18,6	25,0	1,0	105,0	44,0	126,0	4,0	0,1
16,3	22,3	18,6	25,0	1,0	105,0	44,0	126,0	4,0	0,0
7,5	10,3	8,6	10,0	1,0	60,0	27,5	72,0	4,0	0,1
7,5	10,3	8,6	10,0	1,0	60,0	27,5	72,0	4,0	0,1
7,5	10,3	8,6	10,0	1,0	60,0	27,5	72,0	4,0	0,0
2,8	3,8	3,2	4,0	1,0	29,0	27,5	34,8	4,0	0,1
2,8	3,8	3,2	4,0	1,0	29,0	27,5	34,8	4,0	0,0
2,8	3,8	3,2	4,0	1,0	29,0	27,5	34,8	4,0	0,1
2,8	3,8	3,2	4,0	1,0	29,0	27,5	34,8	4,0	0,0
2,8	3,8	3,2	4,0	1,0	29,0	27,5	34,8	4,0	0,0
4,5	6,2	5,1	6,0	1,0	35,0	27,5	42,0	4,0	0,1
11	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,0
9,93	13,6	11,3	16,0	1,0	95,0	27,5	114,0	4,0	0,1

Продовження таблиці 5.3.

P_H , кВт	I_p , А	$F_{розр}$, мм ²	$F_{ст}$, мм ²	n	$I_{доп}$, А	$K_z * I_z$	$K_{пр} * I_{доп}$	$F_{мін}$, мм ³	ΔU_i , %
ШПА-2									
4,5	6,2	5,1	6,0	1,0	35,0	27,5	42,0	4,0	0,060
4,5	6,2	5,1	6,0	1,0	35,0	27,5	42,0	4,0	0,040
7,5	10,3	8,6	10,0	1,0	60,0	27,5	72,0	4,0	0,070
7,5	10,3	8,6	10,0	1,0	60,0	27,5	72,0	4,0	0,060
7,5	10,3	8,6	10,0	1,0	60,0	27,5	72,0	4,0	0,040
7,5	10,3	8,6	10,0	1,0	60,0	27,5	72,0	4,0	0,070
7,5	10,3	8,6	10,0	1,0	60,0	27,5	72,0	4,0	0,050
7,5	10,3	8,6	10,0	1,0	60,0	27,5	72,0	4,0	0,060
16,3	22,3	18,6	25,0	1,0	105,0	44,0	126,0	4,0	0,050
0,9	1,2	1,0	2,5	1,0	22,0	27,5	26,4	4,0	0,020
9,9	13,6	11,3	16,0	1,0	95,0	27,5	114,0	4,0	0,040
4,5	6,2	5,1	6,0	1,0	35,0	27,5	42,0	4,0	0,060
9,9	13,6	11,3	16,0	1,0	95,0	27,5	114,0	4,0	0,040
9,9	13,6	11,3	16,0	1,0	95,0	27,5	114,0	4,0	0,030
37,87	51,9	43,2	50,0	1,0	155,0	82,5	186,0	10,0	0,040
3	4,1	3,4	4,0	1,0	29,0	27,5	34,8	4,0	0,070
3	4,1	3,4	4,0	1,0	29,0	27,5	34,8	4,0	0,060
0,6	0,8	0,7	2,5	1,0	22,0	27,5	26,4	4,0	0,010
0,6	0,8	0,7	2,5	1,0	22,0	27,5	26,4	4,0	0,010
11	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,060
11	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,070
11	6,2	5,1	6,0	1,0	35,0	27,5	42,0	4,0	0,060
11	6,2	5,1	6,0	1,0	35,0	27,5	42,0	4,0	0,040
11	10,3	8,6	10,0	1,0	60,0	27,5	72,0	4,0	0,070
11	10,3	8,6	10,0	1,0	60,0	27,5	72,0	4,0	0,060
11	10,3	8,6	10,0	1,0	60,0	27,5	72,0	4,0	0,040
11	10,3	8,6	10,0	1,0	60,0	27,5	72,0	4,0	0,070
11	10,3	8,6	10,0	1,0	60,0	27,5	72,0	4,0	0,050
11	10,3	8,6	10,0	1,0	60,0	27,5	72,0	4,0	0,060
11	22,3	18,6	25,0	1,0	105,0	44,0	126,0	4,0	0,050
11	1,2	1,0	2,5	1,0	22,0	27,5	26,4	4,0	0,020
11	13,6	11,3	16,0	1,0	95,0	27,5	114,0	4,0	0,040
11	6,2	5,1	6,0	1,0	35,0	27,5	42,0	4,0	0,060
11	13,6	11,3	16,0	1,0	95,0	27,5	114,0	4,0	0,040
11	13,6	11,3	16,0	1,0	95,0	27,5	114,0	4,0	0,030
2,8	51,9	43,2	50,0	1,0	155,0	82,5	186,0	10,0	0,040
4,5	4,1	3,4	4,0	1,0	29,0	27,5	34,8	4,0	0,070

Продовження таблиці 5.3.

P_H	I_p, A	$F_{розр},$ $мм^2$	$F_{ст},$ $мм^2$	n	$I_{доп}, A$	$K_3 * I_3$	$K_{пр} * I_{доп}$	$F_{мін},$ $мм^3$	$\Delta U_i,$ %
0,6	0,820	0,680	2,500	1,000	22,000	27,500	26,400	4,000	0,010
1	1,370	1,140	2,500	1,000	22,000	27,500	26,400	4,000	0,030
1,5	2,050	1,710	2,500	1,000	22,000	27,500	26,400	4,000	0,050
40	54,8	45,6	50,0	1,0	155,0	82,5	186,0	10,0	0,080
ШПА-3									
11	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,060
11	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,070
11	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,040
11	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,040
11	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,040
11	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,040
11	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,030
11	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,070
11	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,040
11	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,070
11	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,040
11	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,060
11	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,070
11	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,040
4,5	6,2	5,1	6,0	1,0	35,0	27,5	42,0	4,0	0,050
4,5	6,2	5,1	6,0	1,0	35,0	27,5	42,0	4,0	0,040
4,5	0,820	0,680	2,500	1,000	22,000	27,500	26,400	4,000	0,010
4,5	1,370	1,140	2,500	1,000	22,000	27,500	26,400	4,000	0,030
4,5	2,050	1,710	2,500	1,000	22,000	27,500	26,400	4,000	0,050
2,8	54,8	45,6	50,0	1,0	155,0	82,5	186,0	10,0	0,080
4,5									
4,5	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,060
4,5	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,070
5	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,040
9,9	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,040
9,9	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,040
12	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,040
10	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,030
10	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,070
10	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,040
10	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,070
10	15,1	12,6	16,0	1,0	95,0	44,0	114,0	4,0	0,040

Продовження таблиці 5.3.

P_H	I_p, A	$F_{розр},$ $мм^2$	$F_{ст},$ $мм^2$	n	$I_{доп}, A$	$K_3 * I_3$	$K_{пр} * I_{доп}$	$F_{мін},$ $мм^3$	$\Delta U_i,$ %
10	14	11	16	1,000	95,000	27,500	114,000	4,000	0,050
10	14	11	16	1,000	95,000	27,500	114,000	4,000	0,040
10	14	11	16	1,000	95,000	27,500	114,000	4,000	0,030
4,5	6	5	6	1,000	35,000	27,500	42,000	4,000	0,070
2,8	4	3	4	1,000	29,000	27,500	34,800	4,000	0,030
4,5	6	5	6	1,000	35,000	27,500	42,000	4,000	0,070
3,42	5	4	4	1,000	29,000	27,500	34,800	4,000	0,050
8,7	12	10	10	1,000	60,000	27,500	72,000	4,000	0,060
8,7	12	10	10	1,000	60,000	27,500	72,000	4,000	0,060
8,7	12	10	10	1,000	60,000	27,500	72,000	4,000	0,040
8,7	12	10	10	1,000	60,000	27,500	72,000	4,000	0,070
9	12	10	16	1,000	95,000	27,500	114,000	4,000	0,040
9	12	10	16	1,000	95,000	27,500	114,000	4,000	0,030
9	12	10	16	1,000	95,000	27,500	114,000	4,000	0,030
9	12	10	16	1,000	95,000	27,500	114,000	4,000	0,050
9	12	10	16	1,000	95,000	27,500	114,000	4,000	0,040
20	27	23	25	1,000	105,000	69,300	126,000	6,000	0,050
20	27	23	25	1,000	105,000	69,300	126,000	6,000	0,080
20	27	23	25	1,000	105,000	69,300	126,000	6,000	0,050
5	7	6	6	1,000	35,000	27,500	42,000	4,000	0,040
9,9	14	11	6	2,000	35,000	27,500	84,000	2,500	0,080
38,18	14	11	16	1,000	95,000	27,500	114,000	4,000	0,050
7,5	14	11	16	1,000	95,000	27,500	114,000	4,000	0,040
ШРА4	14	11	16	1,000	95,000	27,500	114,000	4,000	0,030
9,9	6	5	6	1,000	35,000	27,500	42,000	4,000	0,070
10	4	3	4	1,000	29,000	27,500	34,800	4,000	0,030
10	6	5	6	1,000	35,000	27,500	42,000	4,000	0,070
10	5	4	4	1,000	29,000	27,500	34,800	4,000	0,050
10	12	10	10	1,000	60,000	27,500	72,000	4,000	0,060
10	12	10	10	1,000	60,000	27,500	72,000	4,000	0,060
10	12	10	10	1,000	60,000	27,500	72,000	4,000	0,040
2,8	12	10	10	1,000	60,000	27,500	72,000	4,000	0,070
4,5	12	10	16	1,000	95,000	27,500	114,000	4,000	0,040
4,5	12	10	16	1,000	95,000	27,500	114,000	4,000	0,030
8,7	12	10	16	1,000	95,000	27,500	114,000	4,000	0,030
8,7	12	10	16	1,000	95,000	27,500	114,000	4,000	0,050
8,7	12	10	16	1,000	95,000	27,500	114,000	4,000	0,040
8,7	27	23	25	1,000	105,000	69,300	126,000	6,000	0,050

Продовження таблиці 5.3.

P_H , кВт	I_p , А	$F_{розр}$, мм ²	$F_{ст}$, мм ²	n	$I_{доп}$, А	$K_3 * I_3$	$K_{пр} * I_{доп}$	$F_{мін}$, мм ³	ΔU_i , %
9	12	10	6,000	2,000	35,000	27,500	84,000	2,500	0,140
9	12	10	6,000	2,000	35,000	27,500	84,000	2,500	0,070
7,5	10	9	6,000	2,000	35,000	27,500	84,000	2,500	0,080
10	14	11	6,000	2,000	35,000	27,500	84,000	2,500	0,160
7,5	10	9	6,000	2,000	35,000	27,500	84,000	2,500	0,060
7,5	10	9	6,000	2,000	35,000	27,500	84,000	2,500	0,120
7,5	10	9	6,000	2,000	35,000	27,500	84,000	2,500	0,060
3,42	5	4	2,500	2,000	22,000	27,500	52,800	2,500	0,110
8,3	11	9	6,000	2,000	35,000	27,500	84,000	2,500	0,090
7,56	10	9	6,000	2,000	35,000	27,500	84,000	2,500	0,100
4	5	5	2,500	2,000	22,000	27,500	52,800	2,500	0,150
11	15	13	10,000	2,000	60,000	44,000	144,000	2,500	0,050
70	96	80	50,000	2,000	155,000	275,000	372,000	2,500	0,140
70	96	80	50,000	2,000	155,000	275,000	372,000	2,500	0,070
70	96	80	50,000	2,000	155,000	275,000	372,000	2,500	0,140
70	96	80	50,000	2,000	155,000	275,000	372,000	2,500	0,070
70	96	80	50,000	2,000	155,000	275,000	372,000	2,500	0,100
4,7	6	5	4,000	2,000	29,000	27,500	69,600	2,500	0,110
4,5	6	5	4,000	2,000	29,000	27,500	69,600	2,500	0,070
4,5	6	5	4,000	2,000	29,000	27,500	69,600	2,500	0,110
70	96	80	50,000	2,000	155,000	275,000	372,000	2,500	0,120
70	96	80	50,000	2,000	155,000	275,000	372,000	2,500	0,100
70	96	80	50,000	2,000	155,000	275,000	372,000	2,500	0,140
70	96	80	50,000	2,000	155,000	275,000	372,000	2,500	0,140
7,5	10	9	6,000	2,000	35,000	27,500	84,000	2,500	0,120
4,5	6	5	4,000	2,000	29,000	27,500	69,600	2,500	0,070
2,8	4	3	2,500	2,000	22,000	27,500	52,800	2,500	0,090
4,5	6	5	4,000	2,000	29,000	27,500	69,600	2,500	0,070
4,5	6	5	4,000	2,000	29,000	27,500	69,600	2,500	0,090
4,5	6	5	4,000	2,000	29,000	27,500	69,600	2,500	0,050
4,5	6	5	4,000	2,000	29,000	27,500	69,600	2,500	0,070
1,43	2	2	2,500	2,000	22,000	27,500	52,800	2,500	0,030
2,8	4	3	2,500	2,000	22,000	27,500	52,800	2,500	0,110

5.2 Розрахунок струмів КЗ

За магістральний шинопровід приймаємо ШМА 73 УЗ з $I_{\text{ном}} = 1600 \text{ А}$.

Перевіряємо шинопровід за умовами експлуатації:

1. За номінальним струмом:

$$I_{\text{ШМА}} \geq I_{\text{ном.тр}}; \quad 1600 \text{ А} \geq 1521 \text{ А}$$

$$I_{\text{ном тр}} = 1,4 S_{\text{н тр}} / (\sqrt{3} U) = 1000 / (\sqrt{3} \cdot 0,38) = 1521 \text{ А}.$$

2. За електродинамічною стійкістю:

$$i_{\text{уд доп}} \geq i_{\text{уд}}$$

$$70 \text{ кА} \geq 19,8 \text{ кА}$$

Опір системи живлення:

$$x_c = U_{\text{н}}^2 / S_{\text{кз}} = 0,38^2 / \infty = 0,7 \text{ МОм},$$

де

$$S_{\text{кз}} = \sqrt{3} U_{\text{ном}} I_{\text{кз}} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 12,8 = 225 \text{ МВА}$$

.

Опір КЛ, що живлять цех:

$$r_o = 0,592 \text{ МОм/км}, \quad x_o = 0,429 \text{ МОм/км}, \quad l_{\text{кл}} = 0,154 \text{ км},$$

$$R_{\text{кл}} = 0,091 \text{ МОм}, \quad X_{\text{кл}} = 0,066 \text{ МОм}, \quad Z_{\text{кл}} = 0,027 \text{ МОм}.$$

Опір трансформатора КТП:

$$X_{\text{мп}} = 8,5 \text{ МОм}, \quad R_{\text{мп}} = 2,0 \text{ МОм}, \quad Z_{\text{мп}} = 8,8 \text{ МОм}, \quad Z_{\text{мп}}^{(1)} = 27 \text{ МОм}$$

Сумарний опір системи, КЛ, приведений до сторони 0,38 кВ:

$$Z_{\Sigma} = \frac{0,091 + 0,066}{\left(\frac{10}{0,4}\right)^2} = 0,25 \text{ МОм}$$

Опори трансформатора струму:

$$r_{\text{тт}} = 0,05 \text{ МОм} \quad x_{\text{тт}} = 0,07 \text{ МОм}.$$

Опір вимикаючих апаратів:

$$r_{\text{кот}} = 0,03 \text{ МОм} \quad x_{\text{кот}} = 0,07 \text{ МОм} \quad r_{\text{к}} = 0,1 \text{ МОм}.$$

Опір ШМА:

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	43

$$r_0 = 0,005 \text{ мОм/м} \quad x_0 = 0,013 \text{ мОм/м}$$

$$\text{Тоді } r_{\text{шма}} = r_0 l = 0,005 \cdot 22 = 0,011 \text{ мОм} \quad x_{\text{шма}} = x_0 l = 0,013 \cdot 22 = 0,28 \text{ мОм.}$$

Сумарні опори:

$$r_{\Sigma 1} = r_{\text{тр}} + r_{\text{тт}} + 2r_{\text{кот}} + 2r_{\text{к}} + r_{\text{шма}} = 2 + 0,05 + 2 \cdot 0,03 + 2 \cdot 0,1 + 0,011 = 3,18 \text{ мОм};$$

$$x_{\Sigma 1} = x_{\text{тр}} + x_{\text{тт}} + 2x_{\text{кот}} + x_{\text{шма}} = 8,8 + 0,07 + 2 \cdot 0,07 + 0,28 = 10 \text{ мОм};$$

Опір петлі фаза - нуль:

$$Z_{\text{петлі шма}} = Z_0 \text{ петлі шма} l = 0,145 \cdot 22 = 2,9 \text{ мОм.}$$

За електродинамічною стійкістю:

$$i_{\text{уд доп}} \geq i_{\text{уд}}$$

$$90 \text{ кА} \geq 19,8 \text{ кА}$$

За розподільчий шинопровід ШРА-1 приймаємо згідно таблиці 5.1.
приймаємо шинопровід типу ШРА73 з $I_{\text{доп}} = 250 \text{ А}$.

Проводимо перевірку шинопровода за умовами експлуатації, виконана в таблиці (5.1.).

За електродинамічною стійкістю:

$$i_{\text{уд доп}} \geq i_{\text{уд}}$$

$$35 \text{ кА} \geq 11,3 \text{ кА}$$

Опір вимикаючих апаратів:

$$r_{\text{кот}} = 0,15 \text{ мОм} \quad x_{\text{кот}} = 0,1 \text{ мОм} \quad r_{\text{к}} = 0,4 \text{ мОм}$$

Опір ШРА:

$$r_0 = 0,21 \text{ мОм/м} \quad x_0 = 0,1 \text{ мОм/м.}$$

Тоді

$$r_{\text{шра}} = r_0 l = 0,21 \cdot 82 = 17,22 \text{ мОм}$$

$$x_{\text{шра}} = x_0 l = 0,1 \cdot 82 = 8,2 \text{ мОм.}$$

Сумарні опори:

$$r_{\Sigma 2} = r_{\text{кот}} + r_{\text{к}} + r_{\Sigma 1} + r_{\text{шра}} = 0,15 + 0,4 + 3,18 + 17,22 = 20,95 \text{ мОм};$$

$$x_{\Sigma 2} = x_{\text{кот}} + x_{\Sigma 1} + x_{\text{шра}} = 0,1 + 10 + 8,2 = 18,3 \text{ мОм.}$$

$$Z_2 = \sqrt{(r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2)} = \sqrt{(20,95^2 + 18,3^2)} = 27,8 \text{ мОм.}$$

Опір петлі фаза - нуль:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		44

$$Z_{\text{петлі шра}} = Z_0 \text{ петлі шра } l + Z_{\text{петлі шма}} = 0,55 \cdot 82 + 2,9 = 48 \text{ мОм.}$$

Розподільчу мережу виконуємо кабелем приведено розрахунок для станка нарізання різьби

$$F_e = I_p / j_{\text{ек}} = 15,1 / 1,2 = 4,56 \text{ мм}^2,$$

$$I_p = S_p / (\sqrt{3} \cdot U_n) = 9,93 / (\sqrt{3} \cdot 0,38) = 15,1 \text{ А}$$

Приймаємо кабель АВВГ 4х16 мм² з I_{доп}=95 А.

Проводимо перевірку кабеля:

$$1. \text{ За допустимим струмом: } I_p \leq K_{\text{п}} I_{\text{доп}} \quad 15 \text{ А} \leq 1 \cdot 95 \text{ А}$$

Для кабеля опір вимикаючих апаратів:

$$r_{\text{кот}} = 5,5 \text{ мОм} \quad x_{\text{кот}} = 2,7 \text{ мОм} \quad r_k = 1,3 \text{ мОм}.$$

Опір кабеля:

$$r_0 = 2,08 \text{ мОм/м} \quad x_0 = 0,07 \text{ мОм/м}.$$

Тоді

$$r_{\text{кл}} = r_0 l = 2,08 \cdot 5 = 10,4 \text{ мОм}$$

$$x_{\text{кл}} = x_0 l = 0,07 \cdot 5 = 0,35 \text{ мОм.}$$

Повний опір провода:

$$r_{\Sigma 3} = r_{\text{кот}} + r_k + r_{\text{кл}} = 5,5 + 1,3 + 10,4 = 17,2 \text{ мОм}$$

$$x_{\Sigma 3} = x_{\text{кот}} + x_{\text{кл}} = 2,7 + 0,35 = 3,05 \text{ мОм}$$

$$z_3 = \sqrt{(r_{\Sigma 2} + r_{\Sigma 3})^2 + (x_{\Sigma 2} + x_{\Sigma 3})^2} = \sqrt{(20,95 + 17,2)^2 + (18,3 + 3,05)^2} = 43,7 \text{ мОм.}$$

Повний опір петлі фаза – нуль:

$$Z_{\text{пз}} = Z_{\text{петлі шра}} + Z_0 \text{ петлі кл} \cdot l = 48 + 4,43 \cdot 5 = 70,15 \text{ мОм.}$$

Для ШМА -1

Трифазний струм КЗ:

$$I_{\text{к1}}^{(3)} = U_n / (\sqrt{3} z_1 + z_{\Sigma 1}) = 380 / \sqrt{3} \cdot (10,05 + 10,5) = 10,7 \text{ кА.}$$

Ударний струм

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} K_{\text{уд}} I_{\text{к1}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 10,7 = 15,4 \text{ кА.}$$

Струм однофазного КЗ

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		45

$$r_{\kappa 1}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{z_m^{(1)}}{3} + z_{\text{нетлішма}}} = \frac{220}{\frac{27}{3} + 2,9} = 18,5 \text{ кА}$$

Для ШРА

Трифазний струм КЗ:

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = U_H / (\sqrt{3} z_1 + z_{\Sigma 2}) = 380 / \sqrt{3} \cdot (10,5 + 27,8) = 5,7 \text{ кА.}$$

Ударний струм

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} K_{\text{уд}} I_{\kappa 2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 5,7 = 8,25 \text{ кА.}$$

Струм однофазного КЗ

$$r_{\kappa 2}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{z_m^{(1)}}{3} + z_{\text{нетлішра}}} = \frac{220}{\frac{27}{3} + 48} = 3,9 \text{ кА}$$

Для КЛ:

Трифазний струм КЗ:

$$r_{\kappa 2}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{z_m^{(1)}}{3} + z_{\text{нетлішра}}} = \frac{220}{\frac{27}{3} + 48} = 3,9 \text{ кА}$$

у

дарний струм

$$i_{\text{уд}3} = \sqrt{2} K_{\text{уд}} I_{\kappa 3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 4,05 = 5,83 \text{ кА.}$$

Струм однофазного КЗ

$$r_{\kappa 3}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{z_m^{(1)}}{3} + z_{n3}} = \frac{220}{\frac{27}{3} + 70,15} = 2,77 \text{ кА}$$

Розрахунок струмів КЗ для інших точок приведено в таблиці 5.4

Таблиця 5.4. Розрахунок струмів струмів КЗ

Точка КЗ	параметри						
	R _Σ , мОм	X _Σ , мОм	Z _Σ , мОм	I _{кз(3)} , кА	K _y	i _{уд}	I _{кз(1)} , кА
К_ШРА-1	20,95	18,3	38,32	5,73	1,0	8,20	4,49
Кшра21	17,745	17,958	35,75	6,14	1,0	8,79	4,44

...							
Кшра1	19,845	17,958	37,26	5,89	1,0	8,44	4,13
К_ШРА2	12,2	11,8	27,47	8,00	1,0	11,44	4,49
Кшра41	6,895	11,458	23,87	9,20	1,0	13,17	4,44
...							
Кшра1	47,9	11,4	49,24	4,46	1,0	6,38	3,42
К_ШРА3	24,18	20	41,88	5,24	1,0	7,51	4,49
Кшра55	21,4475	19,658	39,59	5,55	1,0	7,94	4,44
...							
Кшра1	64,63	19,46	67,49	3,25	1,0	4,66	3,06
К_ШРА4	13,2	23	37,02	5,93	1,0	8,49	4,49
Кшра47	10,226	22,658	35,36	6,21	1,0	8,89	5,56
...							
Кшра1	43,95	22,54	49,39	4,45	1,0	6,36	3,25

5.3. Вибір автоматичних вимикачів

В приміщеннях приймаємо КТП, потужністю 1000 кВА, ввідні шафи типу КН-6 мають.

Номинальний струм вимикача:

$$I_n = \frac{S_{тр}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1521 \text{ А}$$

Приймаємо автомат ВА2007.

Номинальний струм автомата: $I_{н.авт} = 2000 \text{ А}$

Номинальний струм розмикача: $I_{н.розм} = 2000 \text{ А}$

Струм вставки в зоні спрацювання від перенавантаження:

$$I_{у.теп} = 1,25 \cdot I_{н.розм} = 1,25 \cdot 2000 = 2500$$

Струм вставки в зоні спрацювання від струмів КЗ:

$$I_{у.розм} = 5 \cdot I_{н.розм} = 5 \cdot 2000 = 10000 \text{ А}$$

$$I_{у0}^{(3)} = 10,7 > 10 \text{ кА}$$

Струм однофазного КЗ на шинах низької напруги трансформатора КТП:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		47

Перевірка автомата:

$$1. I_{кз}^{(1)} \geq 1,25 \cdot I_{у.розм} \quad 18,5 > 12,5 \text{ кА}$$

$$2. I_{дин} \geq I_y^{(3)} \quad 30 > 10,7 \text{ кА}$$

Вибір ввідних автоматів ШРА.

Розрахунковий струм ШРА-4 $I_p = 50,7 \text{ А}$ вибираємо ШРА-73 з $I_n = 250 \text{ А}$

Вибираємо автомат ВА2007 $I_{ном.авт} = 400 \text{ А}$

Номинальний струм розмикача: $I_{н.розм} = 250$

Струм вставки в зоні спрацювання від перенавантаження:

$$I_{у.тепл} = 1,25 \cdot I_{н.розм} = 1,25 \cdot 250 = 310 \text{ А}$$

Струм вставки в зоні спрацювання від струмів КЗ:

$$I_{у.розм} = 5 \cdot I_{н.розм} = 5 \cdot 250 = 1250 \text{ А}$$

Перевірка автомата:

Перевіряємо вимикач за надійністю спрацювання при одно- і трифазному КЗ:

$$I_{к2}^{(3)} = 5,7 \text{ кА} \geq I_{у розц} = 1,25 \text{ кА}$$

$$I_{к2}^{(1)} = 3,9 \text{ кА} \geq (1,3 - 1,5) I_{у розц} = 1,875 \text{ кА}.$$

Для інших автоматів результати розрахунків заносимо в таблицю 5.5.

Таблиця 5.5. Результати вибору автоматичних вимикачів для цехової мережі

Найменування захисного елементу	$I_n, \text{ А}$	$I_p, \text{ А}$	$I_{п}, \text{ А}$	$I_n.авт., \text{ А}$	Тип автомата	$I_n.розц., \text{ А}$	$I_{у.тепл}, \text{ А}$	$I_{у.розц., \text{ А}}$
ШРА-1								
11	16,73	15,06	105,4	25	A3720	40	50,0	150,0
7,5	11,41	10,27	71,87	15	A3720	25	31,3	93,8
16,3	24,79	22,32	156,2	25	A3720	40	50,0	150,0
7,5	11,41	10,27	71,87	15	A3720	25	31,3	93,8
2,8	4,259	3,833	26,83	15	A3720	25	31,3	93,8
4,5	6,845	6,161	43,12	15	A3720	25	31,3	93,8
Найменування захисного елементу	$I_n, \text{ А}$	$I_p, \text{ А}$	$I_{п}, \text{ А}$	$I_n.авт., \text{ А}$	Тип автомата	$I_n.розц., \text{ А}$	$I_{у.тепл}, \text{ А}$	$I_{у.розц., \text{ А}}$
11	16,73	15,06	105,4	25	A3720	40	50,0	150,0
9,93	15,1	13,59	95,16	15	A3720	25	31,3	93,8

ШРА-2								
4,5	6,845	6,161	43,12	15	A3720	25	31,3	93,8
7,5	11,41	10,27	71,87	15	A3720	25	31,3	93,8
16,3	24,79	22,32	156,2	25	A3720	40	50,0	150,0
0,9	1,369	1,232	8,625	15	A3720	25	31,3	93,8
9,9	15,06	13,55	94,87	15	A3720	25	31,3	93,8
4,5	6,845	6,161	43,12	15	A3720	25	31,3	93,8
37,87	57,61	51,85	362,9	63	A3720	75	93,8	281,3
3	4,563	4,107	28,75	15	A3720	25	31,3	93,8
0,6	0,913	0,821	5,75	15	A3720	25	31,3	93,8
11	16,73	15,06	105,4	25	A3720	40	50,0	150,0
2,8	4,259	3,833	26,83	15	A3720	25	31,3	93,8
4,5	6,845	6,161	43,12	15	A3720	25	31,3	93,8
0,6	0,913	0,821	5,75	15	A3720	25	31,3	93,8
1	1,521	1,369	9,583	15	A3720	25	31,3	93,8
1,5	2,282	2,054	14,37	15	A3720	25	31,3	93,8
40	60,85	54,76	383,3	63	A3720	75	93,8	281,3
ШРА-3								
11	16,73	15,06	105,4	25	A3720	40	50,0	150,0
2,8	4,259	3,833	26,83	15	A3720	25	31,3	93,8
4,5	6,845	6,161	43,12	15	A3720	25	31,3	93,8
5	7,606	6,845	47,92	15	A3720	25	31,3	93,8
9,9	15,06	13,55	94,87	15	A3720	25	31,3	93,8
12	18,25	16,43	115	25	A3720	40	50,0	150,0
10	15,21	13,69	95,83	15	A3720	25	31,3	93,8
10	15,21	13,69	95,83	15	A3720	25	31,3	93,8
3,42	5,202	4,682	4,682	15	A3720	25	31,3	93,8
8,7	13,23	11,91	11,91	15	A3720	25	31,3	93,8
9	13,69	12,32	12,32	15	A3720	25	31,3	93,8
9	13,69	12,32	12,32	15	A3720	25	31,3	93,8
20	30,42	27,38	27,38	40	A3720	63	78,8	236,3
38,18	58,08	52,27	52,27	63	A3720	75	93,8	281,3
ШРА-4								
9,9	15,06	13,55	13,55	15	A3720	25	31,3	93,8
10	15,21	13,69	13,69	15	A3720	25	31,3	93,8
2,8	4,259	3,833	3,833	15	A3720	25	31,3	93,8
4,5	6,845	6,161	6,161	15	A3720	25	31,3	93,8
8,7	13,23	11,91	11,91	15	A3720	25	31,3	93,8
Найменування захисного еле- менту	Ін, А	Ір, А	Іп, А	Ін.авт., А	Тип ав- томата	Ін.розц., А	Іу.тепл, А	Іу.розц., А
9	13,69	12,32	12,32	15	A3720	25	31,3	93,8
7,5	11,41	10,27	10,27	15	A3720	25	31,3	93,8

3,42	5,202	4,682	4,682	15	A3720	25	31,3	93,8
8,3	12,63	11,36	11,36	15	A3720	25	31,3	93,8
7,56	11,5	10,35	10,35	15	A3720	25	31,3	93,8
4	6,085	5,476	5,476	15	A3720	25	31,3	93,8
11	16,73	15,06	15,06	25	A3720	40	50,0	150,0
70	106,5	95,83	95,83	160	A3730	250	312,5	937,5
4,7	7,149	6,434	6,434	15	A3720	25	31,3	93,8
4,5	6,845	6,161	6,161	15	A3720	25	31,3	93,8
1,43	2,175	1,958	1,958	15	A3720	25	31,3	93,8

На відпайках від ШРА1 до споживачів встановлюємо автомати серії ВА2007.

Приведемо розрахунок для станків: $P_H = 11$ кВт

Розрахунковий струм:

$$I_p = P_H \cdot \eta / \sqrt{3} U_H \cdot \cos \varphi = 11 \cdot 0,89 / 1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,8 = 16,73 \text{ А}$$

Номінальний струм розщеплювача $I_{H, \text{розц}} = 25 \text{ А}$

Струм уставки спрацювання у зоні струмів перевантаження:

$$I_{y \text{ тепл}} = 2,5 I_{H \text{ розц}} = 2,5 \cdot 25 = 50 \text{ А}$$

Струм уставки спрацювання в зоні КЗ:

$$I_{y \text{ розц}} = 6 I_{p \text{ ном}} = 6 \cdot 25 = 150 \text{ А.}$$

Перевіряємо вимикач за надійністю спрацювання при одно- і трифазному КЗ:

$$I_{K2}^{(3)} = 4,05 \text{ кА} \geq I_{y \text{ розц}} = 0,15 \text{ кА}$$

$$I_{K1}^{(1)} = 2,77 \text{ кА} \geq (1,3 - 1,5) I_{y \text{ розц}} = 0,22 \text{ кА.}$$

5.4. Розрахунок освітлювальної мережі цеху

Мінімальна допустима напруга освітлювального устаткування:

$$U_{\min} = 97,5\% \cdot U_H, U_{xx} = 105\% \cdot U_H.$$

Втрати напруги в трансформаторі:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		50

$$\Delta U_m = \kappa \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi)$$

$$U_a = \frac{100 \cdot \Delta P_{\kappa 3}}{S_{н.тр}} = \frac{100 \cdot 12,2}{1000} = 1,2\%$$

$$\Delta P_{\kappa 3} = 12,2 \text{ кВт}$$

$$U_{\kappa} = 5,5\%$$

$$U_p = \sqrt{U_{\kappa}^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,2^2} = 5,37\%$$

$$\Delta U_m = 0,56 \cdot (1,2 \cdot 0,95 + 5,37 \cdot 0,31) = 1,85\%$$

$$\Delta U_{\partial on} = U_x - \Delta U_m - U_{\min} = 105 - 1,85 - 97,5 = 5,6\%$$

Від КП до освітлювального пункту ЩО проходить чотирьохжильний кабель довжиною 12 м.

Визначимо моменти всіх ділянок мережі.

$$M_{12} = \Sigma P \cdot l_{12} = 49 \cdot 12 = 588 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Визначаємо переріз кабелю:

$$F_{12} = \frac{588 + 1,85 \cdot (465 + 391 + 362 + 334 / 2 + 465 + 391 + 362)}{44 \cdot 5} = 29,25 \text{ мм}^2$$

Визначаємо дійну втрату напруги:

$$\Delta U_{12} = \frac{M_{12}}{C \cdot F_{12}} = \frac{588}{44 \cdot 29,25} = 0,45\%$$

Переріз кабелю до складових та КТП вибираємо по мінімальному перерізу на механічну міцність $F = 2,5 \text{ мм}^2$.

Таблиця 5.6

Розрахунок освітлювальної мережі

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		
						51

Номер ділянки мережі	Момент, кВт·м	Розрахунковий переріз, мм ²	Стандартний переріз, мм ²	Втрата напруги, %
1-2	588	24	25	0,4
2-3	465	14	16	4,5
2-4	391	11	16	4,57
2-5	362	9	10	4,57
2-6	334	8	10	4,5
2-7	362	9	10	4,5
2-8	391	11	16	4,57
2-9	465	14	16	4,57

Прокладання кабелів освітлювальної мережі здійснюється дротом марки АПВ. До рівня підвісу ліхтарів прокладання здійснюється в трубах діаметром 40 мм, далі тросове прокладення на катанці діаметром 5,5 мм. Живлення освітлювальних мереж здійснюється від щитів типу ЩО 31-32 з відходящими автоматами ВА2007.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		52

6. . ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ У ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ УСТАНОВКАХ РЕМОНТНО-МЕХАНІЧНОГО ЦЕХУ

6.1. Аналіз технологічної установки

Для забезпечення ефективної аерації виробничих площ та підтримання концентрації летких хімічних сполук у межах гранично допустимих норм (ГДК) у приміщенні цеху функціонують спеціальні вентиляційні системи. Силові вентиляційні агрегати змонтовані на даху будівлі, а транспортування повітряних мас здійснюється системою гнучких металевих повітропроводів. На даний момент продуктивність установок регулюється дискретно — шляхом перемикання схеми з'єднання обмоток статора приводних асинхронних двигунів із "зірки" на "трикутник".

У результаті проведення технічного аудиту вентиляційного обладнання, а також детального аналізу його експлуатаційних параметрів у навантаженому стані та під час холостого ходу за допомогою сучасного діагностичного інструментарію, було виявлено низку перспективних напрямків підвищення енергетичної ефективності. Систематизований перелік заходів із енергозбереження (МЕЗ) диференційовано за рівнем необхідних капіталовкладень на три основні категорії:

Низькозатратні (організаційно-технічні) заходи:

Підвищення якості регламентного обслуговування механічних та електричних вузлів приводу, суворе дотримання затвердженого графіка планово-запобіжних ремонтів (ППЗРЕ).

Оптимізація виробничої дисципліни, що передбачає оперативне відключення вентиляційних установок під час технологічних пауз та виключення тривалих режимів холостої роботи.

Оснащення приводів реле часу (таймерами) для автоматичного вимкнення пристроїв у періоди бездіяльності.

Середньозатратні заходи (модернізація обладнання):

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		
						53

4. Оптимізація встановленої потужності шляхом заміни завищених за номіналом електродвигунів на відповідні аналоги меншої потужності.

5. Оновлення парку електричних машин із переходом на висококласні енергоефективні двигуни з покращеними робочими характеристиками.

6. Інтеграція апаратних засобів обмеження та контролю тривалості холостого ходу приводів.

7. Реалізація локальної (індивідуальної) компенсації реактивної потужності безпосередньо на клеммах вентиляторних установок першої та другої робочих зон.

Капіталомісткі заходи (автоматизація та капітальні вкладення):

8. Впровадження контурів автоматичного регулювання температури теплоносія в калориферах підігріву повітря.

9. Застосування впускних золотникових пристроїв (шиберів) для аеродинамічного регулювання та обмеження витрати повітря.

10. Інтеграція гідродинамічних або віскозних муфт для гнучкого регулювання крутного моменту, що передається від вала двигуна до крильчатки.

11. Модернізація вентиляторів із встановленням механізмів динамічної зміни кута нахилу (атаки) лопаток робочого колеса.

12. Перехід на повнофункціональний частотно-регульований електропривід на базі сучасних перетворювачів частоти для гнучкого й безступінчастого керування кутовою швидкістю двигуна.

6.2. Енергозбереження в силовому електроприводі

6.2.1. Заміна незавантажених електродвигунів

Розглянемо вентилятор ВВУ вентиляційної установки, що працює у складі системи ПВВ з двигуном А4-42-2 потужністю 11 кВт. Електродвигун

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		54

потужністю 11,5 кВт працює з навантаженням 7 кВт; його характеристика: $P_H = 11$ кВт, $U_H = 380$ В, $\eta_H = 0,92$, $\cos\varphi_H = 0,92$, $I_{xx} = 7,1$ А, $\Delta P_{x,x} = 4,4$ кВт.

Перевіряємо доцільність заміни даного електродвигуна на двигун типу А4 потужністю $P_H = 7,5$ кВт.

Приймаємо коефіцієнт підвищення втрат $k_9 = 0,1$; його характеристики:

$P_H = 7,5$ кВт, $U_H = 380$ В, $\eta_H = 0,91$, $\cos\varphi_H = 0,92$, $I_{xx} = 4,26$ А, $\Delta P_{x,x} = 3,2$ кВт.

Визначимо втрати до:

$$Q_{x,x} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 7,1 \cdot 10^{-3} = 4,66 \text{ кВар.}$$

Реактивна потужність електродвигуна:

$$Q_H = (11 \cdot 0,426) / 0,92 = 5,8 \text{ кВар.}$$

Коефіцієнт навантаження двигуна

$$k_H = 7 / 11 = 0,69 \approx 0,7;$$

$$\gamma = 4,4 / (100 - 92) - 4,4 = 1,22.$$

Приріст втрат активної потужності:

$$\Delta P_{a,H} = 11 \cdot (1 - 0,92) / 0,92 (1 + 1,22) = 0,49 \text{ кВт.}$$

Сумарні втрати активної потужності можуть бути визначені, згідно виразу:

$$\Delta P_{\text{сум}1} = [4,66 (1 - 0,7) + 0,7 \cdot 5,8] \cdot 0,1 + 4,4 + 0,7 \cdot 0,49 = 1,199 \text{ кВт;}$$

Для нового двигуна реактивна потужність ХХ:

$$Q_{x,x} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 4,26 = 2,79 \text{ кВар;}$$

Реактивна потужність електродвигуна при номінальному навантаженні нового двигуна:

$$Q_{x,x} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 4,26 = 2,79 \text{ кВар;}$$

Коефіцієнт навантаження електродвигуна:

$$k_H = 7,5 / 8 = 0,93;$$

Ріст втрат активної потужності в електродвигуні при поточному навантаженні:

$$\Delta P_{a,H} = 7,5 \cdot (1 - 0,91) / 0,91 (1 + 0,57) = 0,436 \text{ кВт;}$$

$$\gamma = 3,2 / (100 - 91) - 3,2 = 0,57;$$

$$\Delta P_{\text{сум}2} = [2,79 (1 - 0,932) + 0,932 \cdot 3,5] \cdot 0,1 + 3,2 + 0,932 \cdot 0,436 = 1,04 \text{ кВт.}$$

Економія за рахунок встановлення двигуна меншої потужності:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		55

$$\Delta P = \Delta P_{\text{сум1}} - \Delta P_{\text{сум2}} = 1,199 - 1,04 = 0,159 \text{ кВт.}$$

В результаті заміни електродвигуна отримаємо зниження втрат активної потужності в електродвигуні і мережах 0,16 кВт. За рік (1902 год) щодня річна економія складе:

$$\Delta E_{\text{дв}} = \Delta P \cdot \tau \cdot C_0 = 0,159 \cdot 1902 \cdot 8 = 19350 \text{ грн/рік}$$

де $C_0 = 8 \text{ грн/кВт}\cdot\text{год}$ - вартість електричної енергії.

6.2.2. Заміна вентилятора старого типу

Заміна вентиляторів старого типу дає економію 30%. Розрахуємо економію електроенергії при заміні вентилятора з двигуном А812 на А4180М6 Параметри двигунів приведені в таблиці 6.2

Таблиця 6.2. Параметри двигунів, що порівнюються

Тип двигуна	P_n , кВт	n_2 , обер ⁻¹	Подача, Па	Напір м ³ /год	η , %
А812	17	970	1820	12,3	87
А4180М6	17	975	1820	19,5	91

Економія електроенергії буде складати:

$$\Delta W = \frac{H \cdot Q \cdot (\eta_2 - \eta_1)}{102 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_n \cdot \eta_c} T =$$

$$= \frac{12,3 \cdot 163 \cdot (0,65 - 0,5)}{102 \cdot 0,65 \cdot 0,5 \cdot 0,91 \cdot 0,87} \cdot 1920 = 28,9 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Річна економія відпровадження МЕЗ:

$$\Delta E_{\text{вен}} = \Delta W \cdot C_0 = 28,9 \cdot 8 = 225 \text{ грн/рік}$$

6.3. Встановлення індивідуальної компенсації приводу вентиляторів робочої зони

Необхідна потужність компенсуючих пристроїв визначається для вентилятора, квар:

$$P_{cpl} = P_{ном} \cdot K_{\epsilon} = 18,5 \cdot 0,65 = 12,03 \text{ кВт};$$

$$Q_{кп} = P_{cpl}(\text{tg}\varphi_1 - \text{tg}\varphi_2) = 12,03(0,88 - 0,25) = 7,58 \text{ кВар}.$$

Річне споживання вентилятором:

$$W_{a1} = P_{cpl} \cdot T_{річ} = 12,03 \cdot 1902 = 23097 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

Для вентилятора, кВт·год:

$$\Delta W_{кп1} = 0,05 W_a \left[1 - \left(\frac{\cos\varphi_1}{\cos\varphi_2} \right)^2 \right] = 0,05 \cdot 23097 \left[1 - \left(\frac{0,75}{0,97} \right) \right] = 261,9.$$

Річна економія від впровадження МЕЗ:

$$\Delta E_{кп} = \Delta W_{кп1} \cdot C_0 = 261,9 \cdot 8 = 1977 \text{ грн/рік}.$$

Визначена річна економія є відправною точкою для прийняття рішення про встановлення КП.

6.4. Встановлення частотно-керованого пристрою для регулювання швидкості обертання двигуна

Розрахуємо економічну ефективність впровадження пристрою частотного керування при впровадженні електроприводу комплектного ПЧСВ на вентиляторі гарячої зони цеху .

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		57

Пропонується впровадження перетворювача частоти для регулювання продуктивності вентилятора. Це дозволить при повністю відкритих заслонках проводити регулювання частоти обертання приводного двигуна вентилятора зміною числа оборотів двигуна, а не механічними засобами.

Залежність споживаної потужності двигуна вентилятора від його частоти обертання є статичною функцією і має кубічну залежність, а у відносних одиницях $P/P_{\max}$ – квадратичну. Її вигляд показаний на рисунку 6.1 (залежність 2).

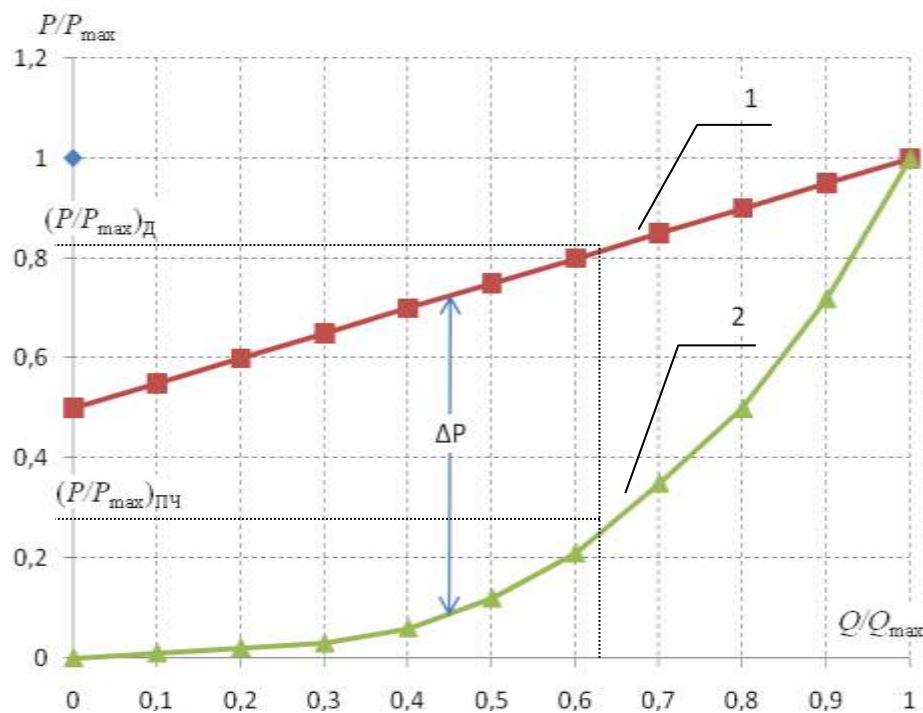


Рисунок 6.1 - Залежність споживаної потужності двигуна вентилятора від частоти обертання

Відрізком ΔP показана різниця між значеннями споживаних потужностей при двох способах регулювання продуктивності (вниз від номінальної):

- дроселюванням - крива (1);
- регулюванням числа оборотів за допомогою перетворювача частоти – крива (2).

У вентилятора холодної зони положення лопастей ± 40 (при повному закритті ± 90), тобто існуючий робочий діапазон роботи вентилятора $Q/Q_{\max} = 0,6 \dots 0,7$.

При дроселюванні (крива 1) $(P/P_{\max})_{\text{Д}} = 0,82$;

При частотному регулюванні (крива 2): $P/P_{\max} = 0,25 \dots 0,35$; Приймаємо $(P/P_{\max})_{\text{ПЧ}} = 0,3$;

Різниця між значеннями споживаних потужностей при двох способах регулювання продуктивності вентилятора:

$$\Delta P = (P/P_{\max})_{\text{Д}} - (P/P_{\max})_{\text{ПЧ}} = 0,82 - 0,3 = 0,52;$$

Різниця при двох способах регулювання продуктивності вентилятора $\Delta P = 0,52$;

Річна економія електроенергії при впровадженні МЕЗ складає:

$$\Delta E_{\text{ПЧ}} = P_{\text{дв}} \cdot \Delta P \cdot T_{\text{річ}} \cdot C_0 = 17,5 \cdot 0,52 \cdot 1902 \cdot 0,64 = 11077 \text{ грн/рік.}$$

При проведенні аналізу технологічного режиму електроприводу і введенні систем автоматичного управління завданням швидкості, надійність роботи установки вентилятора і економічний ефект також можуть бути збільшені.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		59

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано комплексне інженерне розроблення та техніко-економічне обґрунтування системи внутрішнього та зовнішнього електропостачання ремонтно-механічного цеху (РМЦ) промислового підприємства з виробництва скляної тари. За результатами проведених досліджень та розрахунків зроблено такі висновки:

З урахуванням освітлення цеху та втрат, сумарне навантаження на шинах 10 кВ становить 738 кВт (930 кВА). На основі техніко-економічного порівняння приведених витрат (491 тис. грн проти 508 тис. грн) обґрунтовано та прийнято варіант розподілу енергії за допомогою шинопроводів замість силових пунктів.

Доведено недоцільність встановлення КРП на стороні 10 кВ через ризик перекомпенсації. Для надійного живлення цеху та з урахуванням післяаварійного резервування до встановлення прийнято два цехові трансформатори типу 2 × ТМЗ-630 кВА із вбудованою КТП.

За розрахунковим струмом і динамічною стійкістю (струм трифазного КЗ на ШМА — 10,7 кА) вибрано головний шинопровід ШМА-73УЗ (1600 А) та розподільні шинопроводи ШРА-73. Для ліній 10 кВ за умовою термічної стійкості обрано кабель ААШв-10 (3×185). Захист реалізовано на автоматах серії АВМ, АЗ700 та вакуумних вимикачах ВР1.

Обґрунтовано високу ефективність впровадження частотно-регульованого привода (ЧРП) для вентиляційного обладнання. Завдяки переходу від дроселювання до зміни частоти обертання двигуна вентилятора гарячої зони споживання потужності знижено на 52%, що забезпечує окупність інвестицій та суттєву річну економію енергії. Загальний річний ефект по підприємству від впровадження ЧРП димососа склав 11077 кВт·год.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		
						60

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Електротехнічні системи електроспоживання / Плешков П. Г. та ін... – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2021.– 209 с.
2. Плешков П.Г., Гарасьова Н.Ю., Коновалов І.В., Мануйлов В.Ф. Проектування електричного освітлення промислових підприємств: Навчальний посібник.- Кіровоград:РВЛ КНТУ, 2007.-231с., 42 іл., 46 табл.
3. Мілих В. І., Павленко Т. П. Електропостачання промислових підприємств : підручник. Харків : ФОП Панов А. М., 2016. 272 с. ISBN 978-617-7474-17-2.
4. Сегеда М. С., Олійник М. Й., Дудурич О. Б. Нетрадиційні та відновлювальні джерела електроенергії : навч. посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2019. 204 с. ISBN 978-966-941-404-5.
5. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Чинне видання / Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. Київ : [Офіційне
6. Відновлювані джерела енергії : монографія / За заг. ред. С. О. Кудрі. Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. 392 с. ISBN 978-966-999-077-8.
7. Проектування систем електропостачання промислових підприємств : навч.-метод. посібник / уклад. Р. Н. Ахмадов, В. С. Марков. Харків : НТУ «ХП», 2021. 77 с.
8. Маліновський А. А., Хохулін Б. К. Електропостачання промислових підприємств : підручник. 2-ге вид., перероб. та доп. Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2009. 436 с.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		
						61