

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва транспорту та енергетики
Кафедра “Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент”

“Допущено до захисту ”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЄШКОВ
“ ____ ” _____2025р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої
освіти
на тему
“Розроблення системи електропостачання
пивзаводу продуктивністю 50 тис. гектолітрів
на рік”

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу, групи ЕЕ-22-мб
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____Щаділов О.О.
« ____ » _____2025р.

Керівник роботи

к.т.н., доцент

_____Андрій КОТИШ

« ____ » _____2025р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Будівництва транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Плешков П.Г.

«_____» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Щаділова Олексія Олександровича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) Розроблення системи електропостачання пивзаводу продуктивністю 50 тис. гектолітрів на рік

Development of a power supply system for a brewery with a capacity of 50 thousand hectoliters per year

2. Керівник роботи (проекту)

Котвиш Андрій Іванович, к.т.н., доцент

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту)

Вступ; 1.Електричні навантаження; 2.Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки; 3.Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання; 4.Компенсація реактивної потужності; 5.Трансформаторні підстанції; 6.Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання; 7.Спеціальний розділ; Висновки; Перелік посилань.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>	<i>к.т.н., доц. Н. Гарасьова</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>08.05.25</i>	
2	<i>Електричні навантаження</i>	<i>12.05.25.</i>	
3	<i>Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки</i>	<i>16.05.25.</i>	
4	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства</i>	<i>19.05.25.</i>	
5	<i>Компенсація реактивної потужності</i>	<i>21.05.25.</i>	
6	<i>Трансформаторні підстанції</i>	<i>24.05.25</i>	
7	<i>Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання</i>	<i>28.05.25.</i>	
8	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>01.06.25.</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2025 р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2025 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: с.; 41 рис.; 23 табл.; 14 джерел.

Щаділов О.О. Розроблення системи електропостачання пивзаводу продуктивністю 50 тис. гектолітрів на рік. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Центральноукраїнський національний технічний університет. Кропивницький, 2025 р.

Метою роботи з електропостачання пивного заводу є забезпечення надійного, безперебійного, економічного та безпечного постачання електроенергії для всіх технологічних процесів виробництва пива.

А це визначення необхідної потужності для всіх споживачів заводу, включаючи варильний цех, холодильне обладнання, насоси, компресори та освітлення, розробка схеми живлення заводу, вибір напруги, кабельних ліній та електрообладнання тощо.

У спеціальному розділі роботи було розроблено та запропоновано систему автоматичного регулювання температури при процесі пастеризації пива.

Ключові слова: система електроспоживання, електричне навантаження, електроприймач, потужність, електрична енергія, система автоматики, регулювання.

SUMMARY

Shchadilov O.O. Development of a power supply system for a brewery with a capacity of 50 thousand hectoliters per year. 141 "Electric power, electrical engineering and electromechanics" EPP, "Electric power, electrical engineering and electromechanics". Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi, 2025.

The purpose of the work on the power supply of the brewery is to ensure a reliable, uninterrupted, economical and safe supply of electricity for all technological processes of beer production.

And this is the determination of the required power for all consumers of the plant, including the brewing plant, refrigeration equipment, pumps, compressors and lighting, the development of the plant power supply scheme, the selection of voltage, cable lines and electrical equipment, etc.

In a special section of the work, a system for automatic temperature control during the beer pasteurization process was developed and proposed.

Keywords: power consumption system, electrical load, electrical receiver, power, electrical energy, automation system, regulation.

ЗМІСТ

Стор.

Вступ.....	
1. Електричні навантаження.....	
2. Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної роподільної установки (головної знижувальної підстанції).....	
3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства.....	
4. Компенсація реактивної потужності.....	
5. Трансформаторні підстанції.....	
6. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання.....	
7. Спеціальний розділ роботи.....	
Висновки.....	
Перелік посилань.....	

					Випускна кваліфікаційна робота					
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Недокум.</i>	<i>Підпис.</i>	<i>Дат</i>						
<i>Розроб.</i>	<i>Щаділов</i>				<i>Розроблення системи електропостачання пивзаводу продуктивністю 50 тис. гектолітрів на рік</i>			<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Котиш</i>									
<i>Н.контр.</i>					ЦНТУ єр. ЕЕ-22-мб					
<i>Затвер.</i>	<i>Плешков</i>									

ВСТУП

Пивзавод продуктивністю 50 тисяч гектолітрів на рік є середнім за розмірами підприємством і потребує добре спроектованої системи електропостачання для забезпечення стабільної роботи всіх технологічних процесів.

Пивні заводи використовують значні обсяги електроенергії для роботи обладнання, насосів, компресорів, холодильних установок і систем освітлення. Необхідність безперебійного електропостачання – критично важливе для безперервного виробничого процесу, особливо для охолодження та бродіння пива.

Значна кількість електродвигунів використовуються для роботи насосів, млинів, змішувачів та інших механізмів. Необхідно також враховувати наявність вологості в приміщеннях, де працює обладнання, що вимагає надійної ізоляції та заземлення. Пивзаводи працюють з легкозаймистими речовинами (наприклад, спиртовими парами), тому електроустановки повинні відповідати пожежним нормам, включаючи вибухозахищене обладнання в зонах підвищеного ризику.

Сучасні пивзаводи оснащені системами моніторингу та управління споживанням електроенергії для оптимізації витрат. Високі пікові навантаження можуть виникати у періоди активної роботи обладнання, що потребує відповідної організації розподілу потужності.

Енергоефективні технології та альтернативні джерела енергії (наприклад, сонячні панелі або біогазові установки) можуть використовуватися для зменшення витрат і впливу на довкілля.

Всі ці особливості необхідно враховувати під час проектування та експлуатації систем електропостачання пивних заводів тобто застосування комплексного підходу, що включає надійність, енергоефективність, безпеку та автоматизацію.

1. Електричні навантаження

Визначення електричних навантажень є ключовим етапом у проектуванні, експлуатації та модернізації електросистем. Точний розрахунок навантажень дозволяє правильно підібрати параметри електрообладнання, зокрема трансформаторів, кабелів і автоматичних вимикачів, що допомагає уникнути перевантажень та аварійних ситуацій.

Коректне визначення навантажень сприяє стабільній роботі електромереж, покращує прогнозування споживання електроенергії та дає змогу розрахувати необхідну потужність генераторів і резервних джерел живлення. Це також дозволяє прогнозувати майбутні потреби в електроенергії та ефективно планувати модернізацію мережі.

Отже, точне визначення електричних навантажень є запорукою безпечного, економічного та надійного функціонування електромереж і обладнання. Розрахунки здійснюються відповідно до методики, викладеної у [1, 2].

1.1. Електричні силові навантаження в мережі підприємства до 1000В

Розрахункове активне навантаження для певної групи електроприймачів чи якогось вузла навантаження визначається виразом:

$$P_p = P_{cm} \cdot K_M \quad (1.1)$$

P_{cm} - середньозмінне активне навантаження за найбільшу завантажену зміну на підприємстві;

K_M - (є довідниковою величиною) коефіцієнт максимуму навантаження.

Груповий коефіцієнт використання:

$$K_u = \frac{\sum_1^n P_{cm}}{\sum_1^n P_n} \quad (1.2)$$

Ефективне число або кількість електроприймачів у групі (чи вузлі) n_e визначається:

$$n_e = \frac{2 \sum P_n}{P_{n.\max}} \quad (1.3)$$

Для цієї групи приймачів чи вузла навантаження:

$$Q_p = Q_{cm} \quad (1.4)$$

- при $n_e > 10$

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{cm} \quad (1.5)$$

- при $n_e \leq 10$;

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (1.6)$$

Повна розрахункова потужність визначається:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (1.7)$$

Приклад розрахунку (солодовий цех).

Використовуємо початкові дані.

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

$$P_{cm} = P_{сум} K_u = 1155 \cdot 0.58 = 669,9 \text{ кВт}$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \operatorname{tg} \varphi = 669,9 \cdot 0.88 = 590,8 \text{ кВар}$$

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum P_n}{P_{n.\max}} = \frac{2 \cdot 1155}{16} = 144$$

Користуючись літературними джерелами [1, 2] знаходимо коефіцієнт K_m . Для даних умов задачі він становить $K_m = 1,07$.

$$P_p = P_{см} \cdot K_m = 669,9 \cdot 1,07 = 714,59 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_{см} = 590,8 \text{ квар}$$

Аналогічно виконуємо розрахунок також для інших цехів й підрозділів заводу, як показано вище, а результати зводимо до таблиці 1.1. як і загальний результат розрахунку.

Таблиця 1.1 Електричні навантаження до 1000 В

№ п/п	Назва групи споживачів	К-ть ЕС	Р _{одн.} кВт		Р _{сум} кВт	m	К _н	cosφ	tgφ	Середнє		п _{еф}	К _м	Розрахункове навантаження		
			Р _{мін} кВт	Р _{мак} кВт						Р _{ем.} кВт	Q _{см} квар			Р _p кВт	Q _p квар	S _p кВА
1.	Солодовий цех	160	2	16	1155	8	0,58	0,75	0,88	669,9	590,8	144	1,07	714,59	590,8	927,19
2.	Дробильний цех	101	0,78	9,2	966	11,8	0,67	0,79	0,78	647,22	502,3	101	1,06	686,44	502,3	850,59
3.	Затиральний цех	51	0,95	11	289	11,6	0,36	0,83	0,67	104,04	69,92	51	1,21	125,62	69,92	143,77
4.	Фільтраційно-варильний цех	57	0,65	11	352	16,9	0,27	0,68	1,08	95,04	102,48	57	1,25	118,48	102,48	156,65
5.	Бродильний цех	25	0,45	12	154	26,7	0,31	0,72	0,96	47,74	46,01	25	1,35	64,58	46,01	79,29
6.	Розливний цех	35	0,25	10	156	40	0,42	0,85	0,62	65,52	40,61	31	1,24	81,06	40,61	90,66
7.	Котельня	19	1,5	20	305	13,3	0,59	0,84	0,65	179,95	116,24	19	1,2	216,41	116,24	245,65
8.	Склад	14	0,9	16	145	17,8	0,16	0,77	0,83	23,2	19,22	14	1,79	41,59	19,22	45,82
9.	Заводоуправління	23	0,4	4,3	56	10,7	0,46	0,91	0,46	25,76	11,74	23	1,26	32,33	11,74	34,4
	Всього	485	0,25	20	3578	80	0,519 388	0,778	0,81	1858,37	1499,32	358	1	1858,37	1499,32	2387,78

1.2. Освітлювальні навантаження

Встановлена потужність освітлювальних приймачів підприємства, (кВт):

$$P_y = p_0 F \cdot 10^{-3} \quad (1.8)$$

Тобто, як видно з (1.8) результат залежить від питомої потужності освітлювального навантаження (p_0) та площі приміщень заводу (цехів, відділень і т.д.) – F .

Розрахункове ж навантаження для освітлювальних електроприймачів підрозділів:

$$P_{p.осв} = K_n P_y \quad (1.9)$$

Тут результат, як ми бачимо залежить ще й від K_n - коефіцієнт попиту.

Q_p може залежати також від типу світильника, які обираються до встановлення.

Приклад розрахунку для солодового цеху:

$$F = 2020 \text{ м}^2$$

$$P_0 = 20 \text{ Вт} / \text{м}^2$$

$$P_y = F \cdot P_0 \cdot 10^{-3} = 2020 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 41,2 \text{ кВт}$$

$$P_p = K_n K_1 P_y = 0,89 \cdot 1,0 \cdot 41,2 = 37,18 \text{ кВт}$$

Розрахунок для інших цехів та підрозділів даного пивзаводу виконується аналогічно показаному вище, а результати розрахунків зведені до таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 Освітлювальні електричні навантаження

№ п/п	Назва об'єкту	F, м ²	P ₀ , Вт/м ²	P _y , кВт	K _c	K ₁	cosφ	tgφ	P _p , кВт	Q _p , кВАр	S _p , кВА
1.	Солодовий цех	2020	20	41,2	0,89	1	0,89	0,483	37,18	18,51	42,19
2.	Дробильний цех	1885	20	37,8	0,89	1	0,85	0,584	34,84	16,88	38,6
3.	Затиральний цех	1985	18	36,64	0,89	1	0,88	0,5484	33,08	15,56	36,64
4.	Фільтраційно-варильний цех	565	16	11,32	0,9	1	0,92	0,429	10,09	4,65	11,58
5.	Бродильний цех	785	15	12,18	0,9	1	0,88	0,554	11,03	6,44	12,18
6.	Розливний цех	685	16	10,78	0,9	1	0,89	0,483	9,89	4,94	11,08
7.	Котельня	300	10	12	0,9	1	0,81	0,75	11,8	8,2	13,7
8.	Склад	1250	11	3,82	0,89	1	0,81	0,75	3,45	2,61	4,22
9.	Заводоуправління	460	22	10	0,9	1	0,9	0,483	9,1	4,12	10
10.	Територія заводу	52200	0,28	16,6	0,72	1	0,95	0,329	11,92	4,59	12,49
	Всього			192,3					172,4	86,5	193,2

1.3. Електричні силові навантаження в мережі підприємства вище 1000В

Розрахунок навантажень у мережах з напругою понад 1000 В здійснюється відповідно до рекомендацій, наведених у джерелах [3, 4, 5]. При цьому обов'язковим є врахування втрат у трансформаторах.

$$\Delta P = n(\Delta P_x + \Delta P_k K_3^2) \quad (1.10)$$

$$\Delta Q = n\left(\frac{I_x}{100} S_H + \frac{U_k}{100} S_H K_3^2\right) \quad (1.11)$$

де n – число трансформаторів у системі електропостачання підприємства;

$\Delta P_x, \Delta P_k$ – втрати відповідно х.х і к.з., %;

K_3 – коефіцієнт завантаження цих трансформаторів;

Кінцеві результати розрахунків силових та освітлювальних електричних навантажень в мережах понад 1000 В системи наведено у табл. 1.3.

Таблиця 1.3. Електричні навантаження вище 1 кВ

Назва групи споживачів	К-ть ЕС	Р _{одн} , кВт		Р _{сум} , кВт	m	K _н	cosφ	tgφ	Середнє		п _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження				
		P _{мін} , кВт	P _{макс} , кВт						P _{ср} , кВт	Q _{ср} , кВар			P _р , кВт	Q _р , кВар	S _р , кВА		
ТП -1 (2*630 кВА)																	
Солодовий цех																	
силове:	160	2	16	1155	8	0,58	0,75	0,88	669,9	590,8	144	1,07	714,59	590,8	927,19		
освітлювальне:									41,2				37,18	18,51			
Всього:									711,1	590,8			751,77	609,31	967,69		
Затиральний цех																	
силове:	51	0,95	11	289	11,6	0,36	0,83	0,67	104,04	69,92	51	1,21	125,62	69,92	143,77		
освітлювальне:									36,64				33,08	15,66			
Всього:									140,68	69,92			158,7	85,58	180,3		
Всього по ТП -1 (2*630 кВА):																	
силове:	211	0,95	16	1444	16,8	0,54	0,76	0,85	773,94	660,72	180	1,07	825,41	660,72	1057,29		
освітлювальне:									77,84				70,26	34,17			
БК 0,4 кВ										-600				-600			
Всього на шинах 0,4 кВ ТП -1 (2*630 кВА):									851,78	60,72			895,67	94,89	900,68		
Втрати в трансформаторах:													11,13	82,17			
Кількість трансформаторів: 2																	
Номінальна потужність, кВА: 630																	
Коефіцієнт завантаження: K _з = 0,71																	
Всього на шинах 10 кВ ТП -1 (2*630 кВА):													906,8	177,06	923,92		
ТП -2 (2*630 кВА)																	
Дробильний цех																	
силове:	101	0,78	9,2	966	11,8	0,67	0,79	0,78	647,22	502,3	101	1,06	686,44	502,3	850,59		
освітлювальне:									37,8				34,84	16,88			

Продовження таблиці

Назва групи споживачів	К-ть ЕС	Р _{одн} , кВт		Р _{сум} , кВт	m	K _н	cosφ	tgφ	Середнє		п _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження				
		P _{мін} , кВт	P _{макс} , кВт						P _{ср} , кВт	Q _{ср} , кВар			P _р , кВт	Q _р , кВар	S _р , кВА		
Всього:									685,02	502,3			721,28	519,18	888,7		
Котельня																	
силове:	19	1,5	20	305	13,3	0,59	0,84	0,65	179,95	116,24	19	1,2	216,41	116,24	245,65		
освітлювальне:									12				11,8	8,2			
Всього:									191,95	116,24			228,21	124,44	259,93		
Всього по ТП -2 (2*630 кВА):																	
силове:	120	0,78	20	1271	25,6	0,65	0,8	0,75	827,17	618,54	120	1,06	876,04	618,54	1072,4		
освітлювальне:									49,8				46,64	25,08			
БК 0,4 кВ										-600				-600			
Всього на шинах 0,4 кВ ТП -2 (2*630 кВА):									876,97	18,54			922,68	43,62	923,71		
Втрати в трансформаторах:													11,53	84,34			
Кількість трансформаторів: 2																	
Номінальна потужність, кВА: 630																	
Коефіцієнт завантаження: K _з = 0,73																	
Всього на шинах 10 кВ ТП -2 (2*630 кВА):													934,21	127,96	942,93		
ТП -3 (1*630 кВА)																	
Заводоуправління																	
силове:	23	0,4	4,3	56	10,7	0,46	0,91	0,46	25,76	11,74	23	1,26	32,33	11,74	34,4		
освітлювальне:									10				9,1	4,12			
Всього:									35,76	11,74			41,43	15,86	44,36		
Розливний цех																	
силове:	35	0,25	10	156	40	0,42	0,85	0,62	65,52	40,61	31	1,24	81,06	40,61	90,66		
освітлювальне:									10,78				9,89	4,94			
Всього:									76,3	40,61			90,95	45,55	101,72		

1.4. Графіки електричних навантажень

Побудова графіків електричних навантажень дозволяє наочно відобразити та аналізувати зміни у споживанні електроенергії протягом певного періоду. Основними цілями такого аналізу є:

- Виявлення пікових навантажень – визначення періодів найбільшого споживання, що сприяє запобіганню перевантаженню системи та підвищенню її надійності.

- Планування експлуатації та технічного обслуговування – аналіз графіків споживання дає змогу оптимально розподіляти роботу обладнання, знижуючи ризик його перевантаження.

- Оцінка енергоефективності – вивчення динаміки споживання дозволяє виявити можливості для зниження енергетичних витрат.

- Прогнозування майбутніх потреб – історичні дані про споживання електроенергії допомагають передбачати майбутні навантаження та відповідно коригувати виробництво.

- Оптимізація витрат на електроенергію – аналізуючи графіки, можна обрати найбільш економічні періоди для споживання, враховуючи чинні тарифи.

Отже, графіки електричних навантажень є ключовим інструментом для ефективного управління енергосистемою та її оптимальної роботи.

У даній роботі здійснюємо побудову таких графіків навантажень як зимового та літнього $P(t)$, $Q(t)$, $S(t)$ з урахуванням кількості вихідних днів і робочих днів на протязі року, а також будуємо річний графік за тривалістю.

Споживання активної та реактивної електричної енергії в умовах проектування визначається за наступними виразами:

$$W_z = \sum P_i T_i \quad (1.12)$$

$$V_z = \sum Q_i T_i \quad (1.13)$$

Час або кількість годин використання максимуму навантаження та час найбільших втрат:

$$T_{\max} = \frac{\sqrt{W_{\Gamma}^2 + Q_{\Gamma}^2}}{P_p} \quad (1.14)$$

$$\tau = \left(0.124 + \frac{T_{\max}}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 \quad (1.15)$$

Зовнішній вигляд отриманих графіків електричних навантажень представлено на рис. 1.1 – 1.5.

Добовий графік нвантаження P, Q (літні робочі дні)

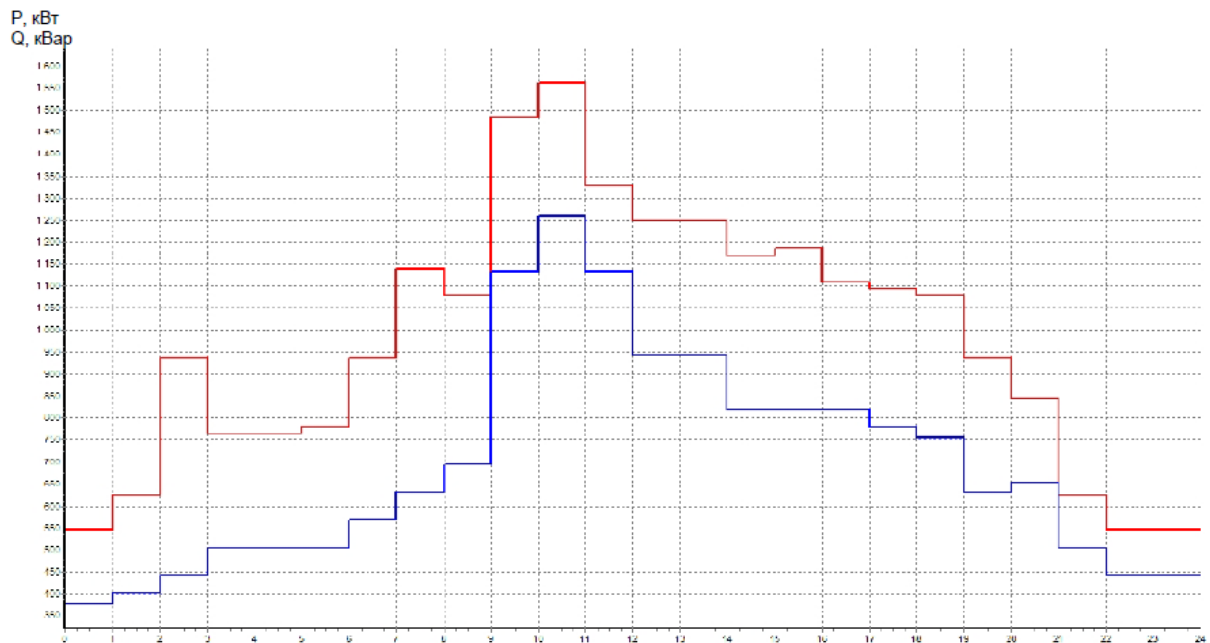


Рис. 1.1.

Добовий графік навантаження P, Q (зимові робочі дні)

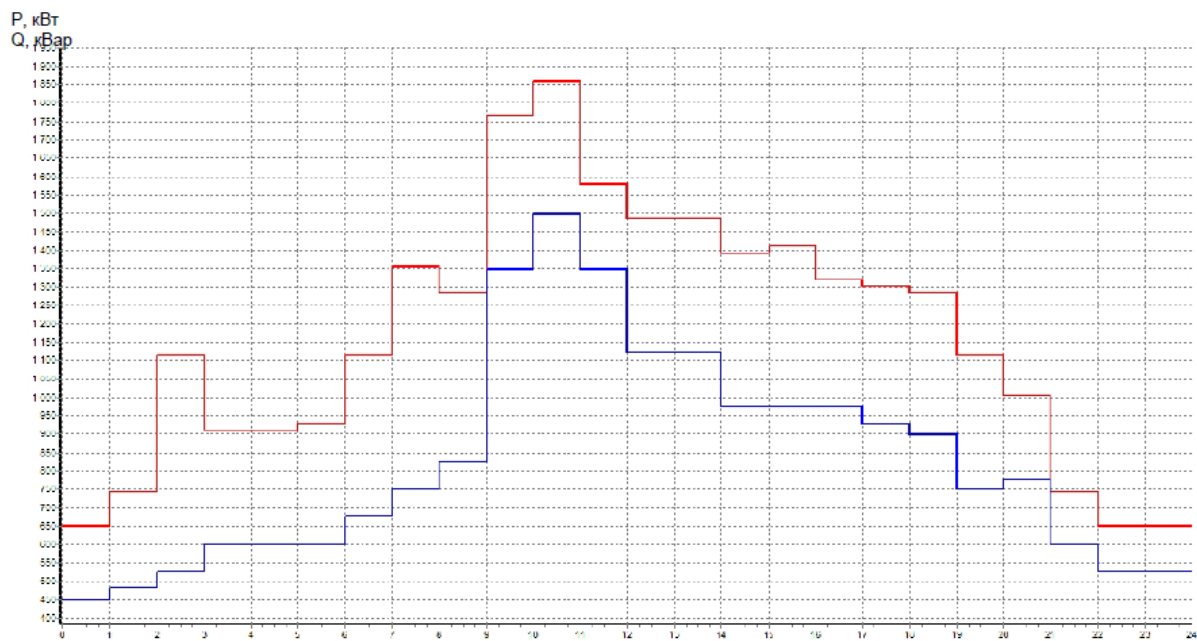


Рис. 1.2.

Добовий графік навантаження P, Q (літні вихідні дні)

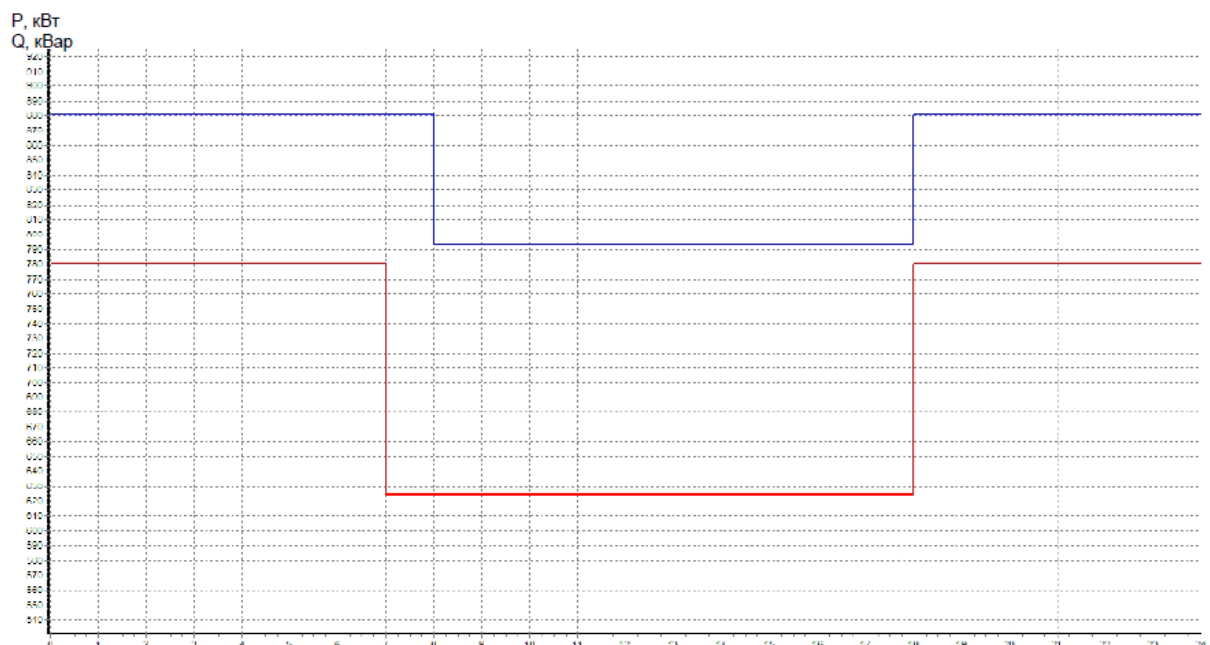


Рис. 1.3.

Добовий графік нвантаження P, Q (зимові вихідні дні)

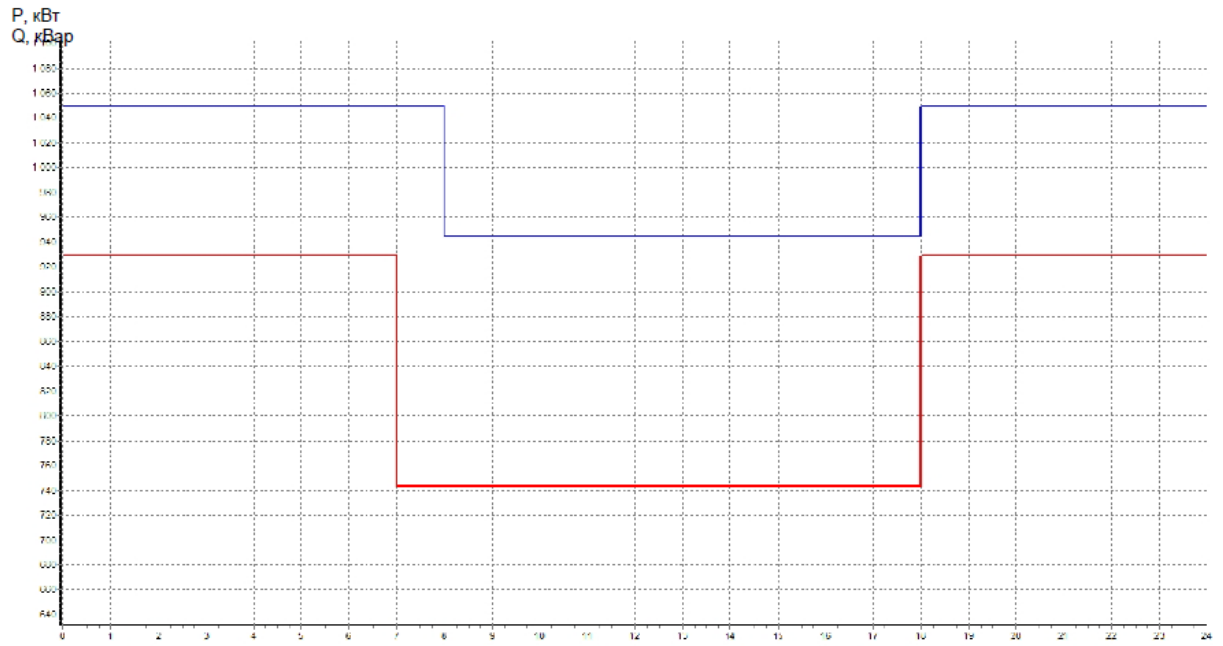


Рис. 1.4.

Річний графік P,Q за тривалістю

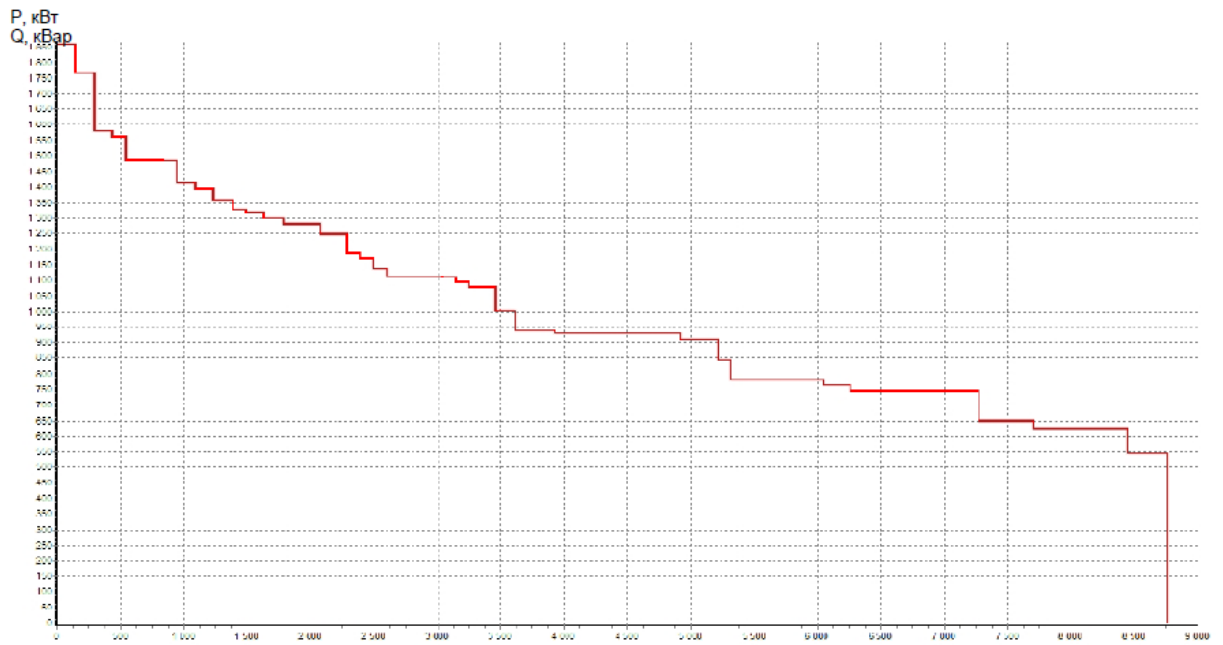


Рис. 1.5.

2. Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки (ЦРП)

Картограма електричних навантажень – це графічне відображення розподілу електричних навантажень у певній місцевості або на конкретному промисловому підприємстві, зазвичай представлене на схемі електромереж. Вона містить дані про різні типи навантажень, їхню інтенсивність, а також часовий і просторовий розподіл.

Для коректного створення картограми навантажень цехів (підрозділів) і підприємства загалом необхідно визначити радіуси кіл R_i та площу πR_i^2 для кожного з них. У вибраному масштабі ці параметри мають відповідати повному навантаженню P_i (кВА).

$$P_i = \pi R_i^2 m \quad (2.1)$$

$$R_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi m}} \quad (2.2)$$

m – масштаб відповідного кола на діаграмі

Координати центру навантажень, назвемо їх в роботі X та Y

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (2.3)$$

Освітлювальне навантаження – то є певний кут α

$$\alpha_i = \frac{P_{i.осв} \cdot 360}{\pi R_i^2} \quad (2.4)$$

Згідно цієї методики, що описана вище для кожного окремого цеху (підрозділу) заводу розраховуємо координати і кут α (частку

освітлювального навантаження). Підсумкові результати ми зводимо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1. Допоміжна таблиця до побудови картограми навантажень.

№п/п	Назва підрозділу	<i>t</i>	<i>Pp осв</i>	<i>Pp сил</i>	<i>Pp сил + Pp осв</i>	<i>R</i>	<i>α</i>	<i>Xi</i>	<i>Yi</i>	<i>Pi*Xi</i>	<i>Pi*Yi</i>
1	Солодовий цех	0,25	37	714	751	31	4	6	11	4506	8261
2	Дробильний цех	0,25	35	686	721	30	5	10	11	7210	7931
3	Затиральний цех	0,25	33	126	159	14	11	10	6	1590	954
4	Фільтраційно-варильний цех	0,25	10	118	128	13	9	12	15	1536	1920
5	Бродильний цех	0,25	11	64	75	15	8	12	16	900	1200
6	Розливний цех	0,25	10	81	91	11	7	7	16	637	1456
7	Котельня	0,25	12	216	228	17	4	13	7	2964	1596
8	Склад	0,25	3	42	45	8	3	9	19	405	855
9	Заводоуправління	0,25	9,0	32	41	7	18	5	17	205	697

2239

19953

$$\underline{\underline{X_0 = 8,91 \text{ См}}}$$

$$\underline{\underline{Y_0 = 11,11 \text{ См}}}$$

Отримані із розрахунків координати X_0 та Y_0 вказують на центру ел. навантажень, де буде саме знаходитися центр живлення.

3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства

Під час розробки техніко-економічних обґрунтувань планів зовнішнього та внутрішнього електропостачання слід брати до уваги різні фактори задля забезпечення ефективного, надійного, економічно обґрунтованого та стійкого постачання електроенергії. До ключових елементів, які варто розглянути, відносяться: споживання електроенергії, стабільність енергопостачання, вибір джерела енергії, заходи щодо підвищення енергоефективності та оптимізації, екологічні аспекти, а також аналіз витрат і рентабельності інвестицій. Ретельний розгляд цих питань є необхідним для розробки оптимальної стратегії як зовнішнього, так і внутрішнього електропостачання для вашого бізнесу.

У запропонованій випускній роботі потенційним джерелом електропостачання пивзаводу з розрахунковим навантаженням 2064 кВА виступає підстанція енергосистеми, обладнана двома трансформаторами потужністю 1600 кВ·А з напругою 35/10 кВ. Відстань між підстанцією та комбінатом становить 2,20 км. Таким чином, для аналізу схем зовнішнього електропостачання пропонується два варіанти:

- а) із напругою 35 кВ;
- б) із напругою 10 кВ.

Остаточне рішення приймається шляхом порівняння загальних витрат для кожного з цих варіантів.

Приведені витрати по кожному з варіантів

$$Z_i = E_n K_i + C_i + C_{emp.i} + Y_i \quad (3.1)$$

де E_n - коефіцієнт нормативний, ефективності кап. вкладень, 1/рік;

K_i - капітальні сумарні витрати у схему, тис. грн.;

C_i - поточні витрати щодо схеми на розподіл та передачу електроенергії, тис.грн./рік;

$C_{emp.i}$ – грошова вартість втрат електроенергії, тис.грн./рік;

U_i - ймовірнісний збиток від переривів в електропостачанні об'єкту (підприємства), тис.грн/рік.

Поточні витрати C_i :

$$C_i = C_{ai} + C_{ei} \quad (3.2)$$

Вартість втрат електричної енергії:

$$C_{emp} = c_0 \Delta W \quad (3.3)$$

де C_0 – вартість втрат 1 кВт*год електроенергії, (грн.)

ΔW втрати електричної енергії в повітряних й кабельних лініях, кВт·год;

$$\Delta W = \Delta P_{1km} l_{\Sigma} K_3^2 \tau \quad (3.4)$$

де ΔP_{1km} – втрати активної потужності у лініях електропередачі на 1 км довжини при умові максимально припустимого навантаження, кВт;

l_{Σ} – сумарна довжина кіл ліній електропередачі, км;

K_3 – коефіцієнт завантаження зазначених ліній електропередачі;

τ – кількість годин (час) максимальних річних втрат.

Втрати електричної енергії в трансформаторі визначаємо так:

$$\Delta W = \Delta P_x t + \Delta P_K K_3^2 \tau \quad (3.5)$$

де t кількість годин (час) роботи трансформатора у поточному році.

Збитки визначаються наступним чином:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (3.6)$$

де λ_i – так званий параметр потоку відмов одного із застосованих елементів дослідної системи електропостачання, 1/рік;

n - кількість застосованих елементів у колі схеми.

Середній час відновлення (годин) однієї лінії (ланцюга схеми):

$$T_{\text{с}} = \frac{\sum \lambda_r T_{\text{сi}}}{\lambda} \quad (3.7)$$

Загальна методика розрахунку надійності, що застосована у роботі, представлена в [6]. На її основі проводиться техніко-економічне порівняння двох варіантів схем зовнішнього електропостачання (варіанти а) та б)), як показано на рис. 3.1.

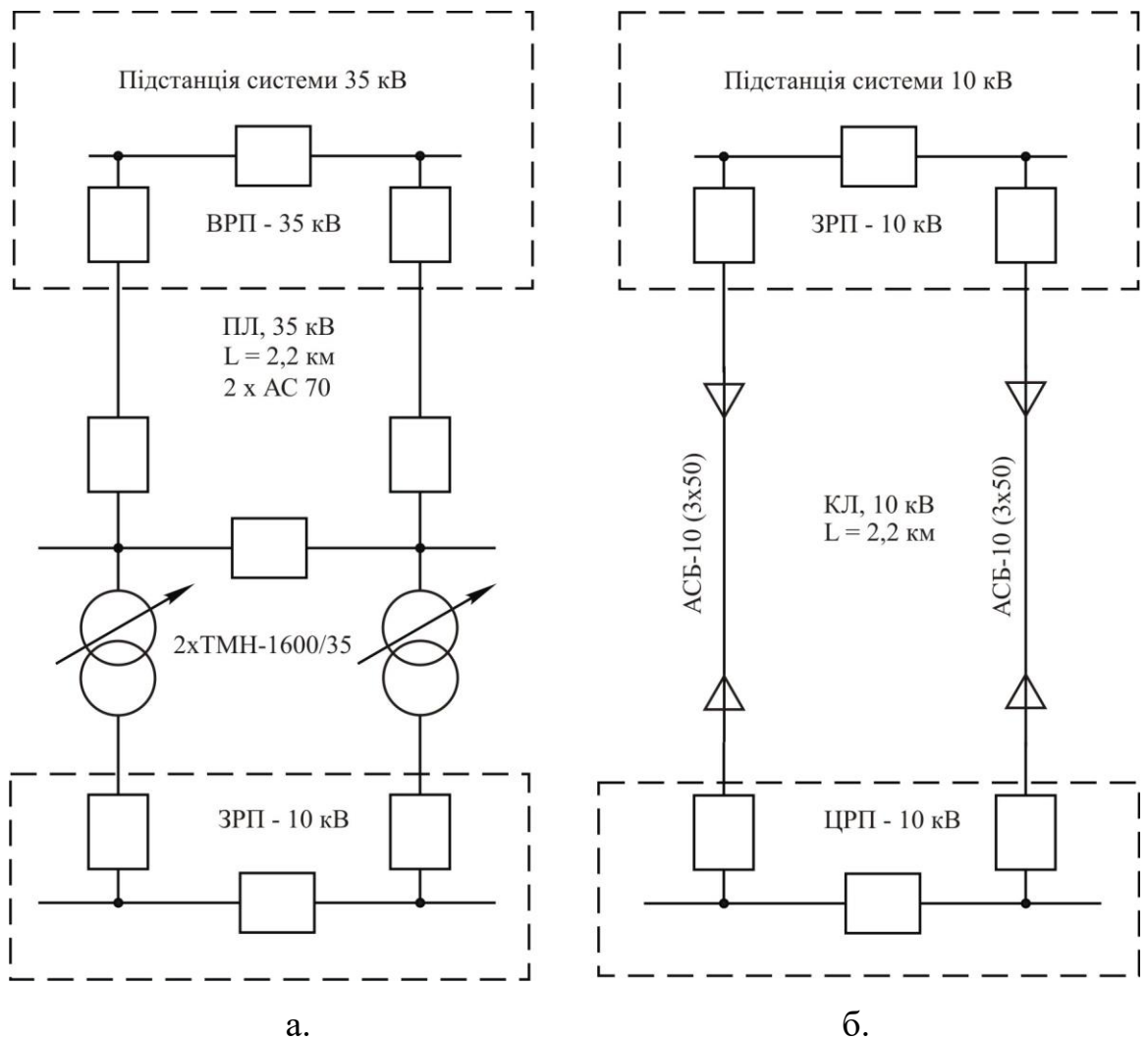


Рис. 3.1. Можливі схеми зовнішнього електропостачання пивзаводу

Розрахунки по I варіанту

Розрахунок капітальних вкладень

Таблиця 3.1. Розрахунок капітальних вкладень

№ вар.	Назва елемента схеми	Одиниця	Кількість	Вартість	Всього
1	ЛЕП 35 кВ на з/б опорах	км	2,2	264	580,8
	ВРП 35 кВ	шт.	1	150	150
	2 x ТМН-1600/35	шт.	2	850	1700
<i>Всього</i>					2430,8

Розрахунок поточних витрат

Таблиця 3.2. Розрахунок поточних витрат

№ вар	Назва елемента схеми	К _ј , тис.грн.	Р _{ај} , %	С _{ај} , тис.грн.	Р _{еј} , %	С _{еј} , тис.грн.	С _ј , тис.грн.
1	ЛЕП 35 кВ на з/б опорах	580,8	5	29,04	5	29,04	58,08
	ВРП 35 кВ	150	15	22,5	5	7,5	30
	2 x ТМН-1600/35	1700	15	255	5	85	340
<i>Всього</i>							428,08

Розрахунок збитку від перерви електропостачання

$$Y = Y_0 P_{cp} T_a = 26 \cdot 1,01 \cdot 0,01735 = 0,46$$

Розрахунки по II варіанту

Розрахунок капітальних вкладень

Таблиця 3.1. Розрахунок капітальних вкладень

№ вар.	Назва елемента схеми	Одиниця	Кількість	Вартість	Всього
2	КЛ 10 кВ	км	4,4	145	638
	Траншея	км.	2,2	15,3	33,66
	Шафи КРП серії КУ-10	шт.	2	16,8	33,6
<i>Всього</i>					705,26

Розрахунок поточних витрат

Таблиця 3.2. Розрахунок поточних витрат

<i>№ вар</i>	<i>Назва елемента схеми</i>	K_j , тис.грн.	P_{aj} , %	C_{aj} , тис.грн.	$P_{эj}$, %	C_{aj} , тис.грн.	C_j , тис.грн.
2	КЛ 10 кВ	638	5	31,9	5	31,9	63,8
	Траншея	33,66	5	1,683	5	1,683	3,366
	Шафи КРП серії КУ-10	33,6	15	5,04	5	1,68	6,72
<i>Всього</i>							73,886

Розрахунок збитку від перерви електропостачання

$$Y = Y_0 P_{cp} T_a = 26 \cdot 1,01 \cdot 0,00909 = 0,24$$

У підсумку результати розрахунку заносимо у таблицю 3.3.

Таблиця 3.3. Техніко – економічні показники розглянутих схем

Показники	Варіанти (тис. грн)	
	I	II
Капітальні вкладення	2430,8	705,26
Поточні витрати	428,08	73,88
Вартість втрат електроенергії	820,47	338,01
Збиток	0,46	0,24
Приведені витрати	1540,7	546,7

4. Компенсація реактивної потужності

Проведемо розрахунок балансу активної та реактивної потужності.

Сумарне низьковольтне електричне навантаження:

$$P_n = \sum P_{ТП} = 2030 \text{ кВт} \quad Q_n = \sum Q_{ТП} = 1585 \text{ кВАр}$$

Сумарні втрати в цехових ТП:

$$\Delta P_m = \sum \Delta P_{ТП} = 27,91 \text{ кВт} \quad \Delta Q_m = \sum \Delta Q_{ТП} = 205,9 \text{ кВАр}$$

Сумарне споживання активної та реактивної потужностей:

$$P_p = P_n + \Delta P_m + P_e = 2030 + 27,91 + 0 = 2057,91 \text{ кВт}$$
$$Q_p = Q_n + \Delta Q_m + Q_e = 1585 + 205,9 + 0 = 1790,9 \text{ кВАр}$$

Реактивна потужність, яка споживається від системи:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 2057,91 \cdot 0,15 = 308,69 \text{ кВАр}$$

Потужність компенсуючих пристроїв:

$$Q_{кп} = Q_p - Q_e = 1790,9 - 308,69 = 1482,21 \text{ кВАр}$$

Мінімальна кількість трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_n}{\beta \cdot S_{ном}} = \frac{2030}{0,645 \cdot 630} = 5 \quad \approx 5 \text{ шт.}$$

Надалі будуть розглядатися варіанти компенсації при кількості трансформаторів $N = N_0$, $N = N_0 + 1$, $N = N_0 + 2$.

Варіант 1. $N = N_0 = 5$ шт.

Реактивна потужність, яка може бути передана із мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ:

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{ном})^2 - P_n^2} = \sqrt{(5 \cdot 0,645 \cdot 630)^2 - 2030^2} = 84,31 \text{ кВАр}$$

Потужність КП, що встановлюються в мережі до 1000 В Q_{KH} , визначається із умови балансу реактивної потужності на шинах ТП:

$$Q_{KH} = Q_n - Q_1 = 1585 - 84,31 = 1500,69 \text{ кВАр}$$

Потужність КП, що встановлюються в мережі 10 кВ, Q_{KB} , визначається із умови балансу реактивної потужності на шинах 10 кВ:

$$Q_{KB} = Q_p - Q_{KH} - Q_e = 1790,9 - 1500,69 - 308,69 = -18,48 \text{ кВАр}$$

Розрахунок варіантів $N = N_0 + 1$, $N = N_0 + 2$ виконується аналогічно.

Результати розрахунку зведено в таблицю 6.1.1.

Таблиця 6.1.1. Розрахунок потужності компенсуючих пристроїв

<i>№ варіанту</i>	<i>Кількість тр-торів</i>	<i>Q_1, кВАр</i>	<i>Q_{KH}, кВАр</i>	<i>Q_{KB}, кВАр</i>
1	5	84,31	1500,69	-18,48
2	6	1350,34	234,66	1247,55
3	7	1992,48	0	1482,21

Варіант 1. $N = 5$ шт.

Втрати активної потужності в КП:

$$\Delta P_{KH} = P_{ПИТ}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 866 = 3,9 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{KB} = P_{ПИТ}^{KB} \cdot Q_{KB} = 0,003 \cdot 600 = 1,8 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності при передачі через трансформатори реактивної потужності:

$$\Delta P_{ТП} = \frac{P_{HH}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_T \cdot 10^{-3} = \frac{2030^2 + 84,31^2}{10^2} \cdot 0,33 \cdot 0,001 = 13,62 \text{ кВт}$$

де

$$R_{екв} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{НОМ}^2}{N \cdot S_{НОМ}^2} \cdot 10^3 = \frac{6,5 \cdot 10^2}{5 \cdot 630^2} \cdot 1000 = 0,33 \text{ Ом}$$

Вартість КП на стороні 0,4 кВ:

$$K_{KH} = \sum_{i=1}^n N_{KH i} \cdot K_{KH i} = 2 \cdot 3,67 + 2 \cdot 4,1 + 2 \cdot 5,32 = 26,18 \text{ тис.грн.}$$

Вартість КП на стороні 10 кВ:

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KB i} \cdot K_{KB i} = 4 \cdot 10,07 = 40,28 \text{ тис.грн.}$$

Вартість КТП:

$$K_{КТП} = N_{КТП(2)} \cdot K_{КТП(2)} + N_{КТП(1)} \cdot K_{КТП(1)} = \\ = 2 \cdot 638 + 1 \cdot 337,5 = 1613,5 \text{ тис.грн.}$$

$$Z = E_H (K_{KH} + K_{KB} + K_{КТП}) + C_0 \tau (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{ТП}) = \\ = 0,12 \cdot (26,18 + 40,28 + 1613,5) + 8,62 \cdot 3138 \cdot (3,9 + 1,8 + 13,62) \cdot 10^{-3} = \\ = 724,19 \text{ тис.грн.}$$

Розрахунок двох інших варіантів проводиться аналогічно. Результати результати розрахунку приведені в таблиці 6.2.4.

Таблиця 6.2.4. Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності

№ вар.	Q_{KH} , кВАр	ΔP_{KH} , кВт	Q_{KB} , кВАр	ΔP_{KB} , кВт	$N_{ТР}$, шт.	$R_{екв}$, Ом	$S_{пр}$, кВА	$\Delta P_{ТП}$, кВт	K_{KH} , тис. грн.	K_{KB} , тис. грн.	$K_{КТП}$, тис. грн.	Z , тис. грн.
1	866	3,9	600	1,8	5	0,33	2031,75	13,62	26,18	40,28	1613,5	724,2
2	666	3	900	2,7	6	0,27	2438,1	16,05	18,84	30,68	1951	828,4
3	400	1,8	1200	3,6	7	0,23	2844,45	18,61	10,64	50,82	2288,5	931,5

5. Трансформаторні підстанції

Цехові трансформаторні підстанції на пивзаводах мають низку специфічних особливостей, які зумовлені як вимогами до надійності електропостачання, так і особливостями технологічного процесу виробництва пива. Основні аспекти роботи таких підстанцій включають:

1. Стабільність та надійність живлення

Виробничий процес на пивзаводах вимагає постійної та стабільної напруги, тому важливо забезпечити безперебійне електропостачання. Це дозволяє уникнути збоїв у роботі обладнання та порушень технологічного процесу.

2. Гнучкість у режимах роботи

Технологічні цикли виробництва можуть передбачати різні навантаження. Тому цехові підстанції повинні мати можливість адаптуватися до змін навантаження, забезпечуючи ефективну роботу як у пікові, так і в позапікові періоди.

3. Оптимізація енергоспоживання

Енергоефективність є важливим аспектом, оскільки вона впливає на витрати підприємства. Сучасні системи управління дозволяють здійснювати моніторинг споживання електроенергії та впроваджувати заходи щодо зниження витрат.

4. Системи моніторингу та безпеки

Для забезпечення безперебійної роботи та своєчасного реагування на можливі несправності підстанції обладнують системами автоматичного контролю і діагностики, що сприяє оперативному технічному обслуговуванню і підвищенню безпеки виробництва.

5. Відповідність екологічним стандартам

Сучасні пивзаводи все частіше дотримуються вимог щодо зниження негативного впливу на довкілля. Це включає не лише енергоефективність, а й використання технологій, що мінімізують шкідливі викиди та зменшують споживання ресурсів.

Ці особливості роботи цехових трансформаторних підстанцій сприяють забезпеченню стабільного та ефективного електропостачання, що є критично важливим для підтримання безперебійного виробничого процесу на пивзаводах.

Вибрана потужність цехових трансформатрів ще обов'язково перевіряється щодо їхнього аварійного перевантаження

$$S_{доп} = 1,4 S_{ном} \geq S_{ав} \quad (5.1)$$

Таблиця 5.1. Вибір цехових трансформаторних підстанцій заводу

№ТП	Sp, кВА	Sном, кВА	N	Марка трансф.	Кз	Кз.ав.	Категорійність приймачів	Тип КТП	Місце розташування
1	923,9	630	2	ТМЗ-630/10	0,71	1,42	I, II, III	прибудована	Солодовий цех
2	942,9	630	2	ТМЗ-630/10	0,73	1,46	II, III	прибудована	Дробильний цех
3	459,6	630	1	ТМЗ-630/10	0,68	0,69	II, III	прибудована	Фільтраційно-варильний цех

6. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання

6.1. Розрахунок струмів коротких замикань

Розрахунок струмів короткого замикання (КЗ) проводять з метою визначення максимальної величини струму, який може виникнути у системі при аварійних ситуаціях. Це необхідно для:

Забезпечення безпеки персоналу та обладнання, адже знання струмів КЗ дозволяє розробити ефективну систему захисту.

Правильного вибору та налаштування захисних пристроїв (автоматів, реле, запобіжників), що повинні спрацювати у разі короткого замикання.

Визначення характеристик ізоляції та міцності елементів мережі, щоб уникнути їх пошкодження під час аварійних навантажень.

Планування аварійних відключень та розробки заходів щодо мінімізації шкоди в електричній системі.

Таким чином, розрахунок струмів КЗ є критично важливим для забезпечення надійної, безпечної та стійкої роботи електроенергетичної системи.

Для цього складається однолінійна схема, яка включає всі джерела живлення, що беруть участь у живленні місця КЗ, та усі елементи системи електропостачання (трансформатори, лінії електропередач, реактори тощо), розташовані між ними та місцем КЗ.

Після цього створюється схема заміщення, в якій всі елементи замінюються опорами та індуктивностями, які приведені до базових умов.

Як правило визначають такі величини як періодична складова струму КЗ (6.1) також ударний струм (6.2).

$$I_{п0} = I'' = \frac{E_{\Sigma}''}{\sqrt{3} \cdot X_{PE3}}, \quad (6.1)$$

$$i_{yД} = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot \left(1 + e^{\frac{-0.01}{T_a}} \right), \quad (6.2)$$

$$T_a = \frac{X_{PE3}}{\omega I_{PE3}}, \quad (6.3)$$

де

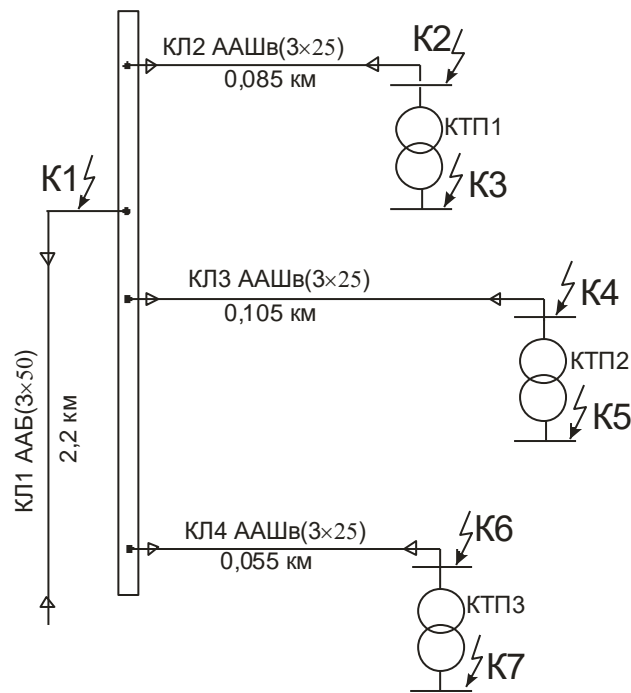


Рис.6.1. Розрахункова схема мережі приведена для розрахунку струмів короткого замикання

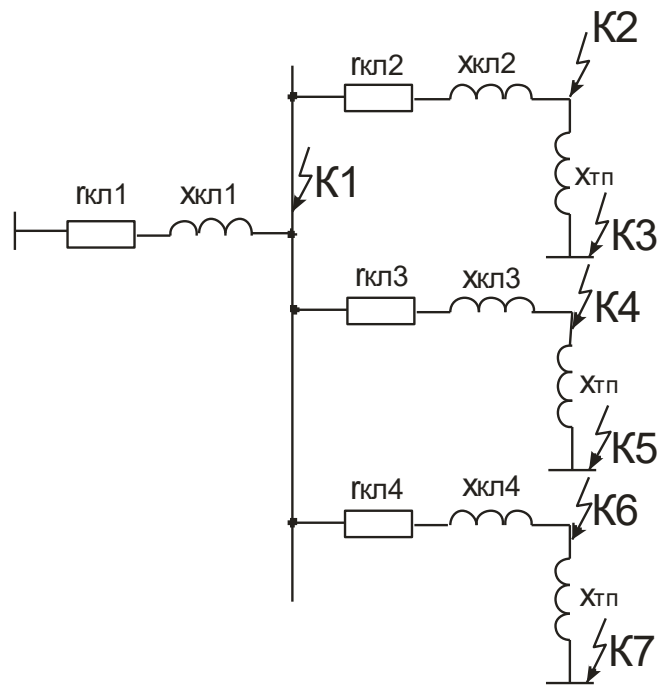


Рис.6.2. Схема заміщення мережі приведена для розрахунку струмів КЗ

Розрахунок здійснюємо за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel. Результати розрахунку знаходяться в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1. Струми КЗ в характерних точках СЕЛП

№ точки к.з.	$R, \text{ Ом}$	$X, \text{ Ом}$	$I_k'', \text{ кА}$	$T_a, \text{ с}$	$k_{y\delta}$	$i_{y\delta}, \text{ кА}$
1	1,4080	1,3030	3,16	0,0029	1,032	4,61
2	1,5130	1,3110	3,03	0,0028	1,028	4,41
3	0,0048	0,0159	13,91	0,0105	1,386	27,26
4	1,5380	1,3130	3,00	0,0027	1,025	4,35
5	0,0049	0,0159	13,91	0,0103	1,379	27,13
6	1,4760	1,3080	3,07	0,0028	1,028	4,46
7	0,0048	0,0159	13,91	0,0105	1,386	27,26

6.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж

Вибираємо переріз жил кабелів згідно літературного джерела [10] за економічною густиною струму.

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} \quad (6.4)$$

де $j_{ек}=1,4 \text{ А/мм}^2$

Перевіряємо за наступними умовами:

$$1. I_{роб.форс.} \leq I_{доп} \quad (6.5)$$

$$2. F_{min} \geq \frac{\sqrt{B_k}}{C} \quad (6.6)$$

$$C=91 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$$

Приклад (розрахунок для КЛІ-3)

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{931,2}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 27 \text{ А}$$

$$F = \frac{27}{1,4} = 19,3 \text{ мм}^2$$

Обираємо кабель ААШв-10 (3×25), у котрого $I_{доп}=90,0 \text{ А}$.

Перевірка за умовами:

$$1. 27 < 90$$

$$2. F_{min} = \frac{\sqrt{2810^2 \cdot 1,565}}{91} = 38,4$$

Таким чином, обраний кабель не задовольняє умові №2. Тому обираємо інший - ААШв-10 (3×50), у котрого $I_{доп}=134,0 \text{ А}$.

Таблиця 6.1. Вибір кабелів 10 кВ пивзаводу

№ КЛ	Sp, кВА	Ip, А	Переріз, мм ²	Кількість КЛ	Марка кабелю	Призначення
КЛ2	923,9	26,7	50	2	ААШВ(3×50)	ЦРП-КТП1
КЛ3	942,9	27,3	50	2	ААШВ(3×50)	ЦРП-КТП2
КЛ4	459,6	26,5	50	1	ААШВ(3×50)	ЦРП-КТП3
КЛ1	2064,3	59,6	50	2	ААБ(3×50)	Від енергосистеми

6.3. Вибір електрообладнання

Вибір вимикачів (комутаційних апаратів)

Вибір комутаційних апаратів здійснюється згідно наступних параметрів:

Напруги
$$U_{вст} \leq U_{ном} \quad (6.7)$$

Струму
$$I_{ном} \leq I_{ном}; I_{роб.фодс} \leq I_{ном} \quad (6.8)$$

$$I_{п.т} \leq I_{відк.ном} \quad (6.9)$$

Здатності на відключення
$$i_{а.т} \leq i_{а.ном} = \sqrt{2} * I_{відк.ном} * (1 + \beta_n) \quad (6.10)$$

За ударним струмом
$$i_y \leq i_{вкл}; I_{п.о.} \leq I_{вкл} \quad (6.11)$$

За термічною стійкістю
$$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер} \quad (6.12)$$

На ЦРП підприємства, де проектується наша система електропостачання приймаємо до застосування комірку розподільчі КРП типу КУ-10Ц, які випускаються у комплекті з вакуумними вимикачами ВР-1.

На вводах ЦРП пивзаводу

Таблиця 6.2. Вибір ввідних вимикачів 10 кВ.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
120 А	$I_{роб\,форс} \leq I_{ном}$	630,0 А
2,92 кА	$I_K \leq I_{динс}$	20,0 кА
4,23 кА	$i_y \leq 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{динс}$	51,0 кА
2,92 кА	$I_{нт} \leq I_{ном\,відкл}$	20,0 кА
$\sqrt{2} \cdot 2,92 + 2,42 = 6,55$ кА	$\sqrt{2} \cdot I_{ном\,нт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} \cdot I_{н\,відкл} (1 + \beta_H)$	$\sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,25) = 35,26$ кА
$2,92^2 (0,03 + 1,5 + 0,045) = 13,4$ кА ² ·с	$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$	$20^2 \cdot 3 = 1200$ кА ² ·с

Вибір трансформаторів власних потреб (ТВП)

Потужність трансформаторов власних потреб (ВП) вибирається згідно самого навантаженням власних потреб із урахуванням їхніх коефіцієнтів завантаження й попиту.

Розрахункове навантаження для ТВП:

$$S_{розр} = K_C \cdot \sqrt{(P_{встп}^2 + Q_{встп}^2)}, \quad (6.16)$$

$K_C = 0,8$ - коефіцієнт попиту

Умовою вибору потужності ТВП є:

$$S_{тр} \geq \frac{S_{розр}}{1,4} \quad (6.17)$$

Споживачі власних потреб споживають наступну потужність:

$$S_{розр} = K_C \cdot \sqrt{(P_{встп}^2 + Q_{встп}^2)} = 0,8 \cdot \sqrt{17^2 + 0^2} = 16 \text{кВ} \cdot \text{А}$$

$$S_{тр} \geq \frac{S_{розр}}{1,4} = \frac{16}{1,4} = 11,4 \text{кВ} \cdot \text{А};$$

Обираємо трансформатор ВП ТМЗ – 25/10 із наступними параметрами:

$$S_{\text{НОМ}} = 25,0 \text{ кВА}, U_{\text{ВН}} = 10 \text{ кВ}, U_{\text{НН}} = 0,4 \text{ кВ},$$

$$K_3 = \frac{S_{\text{роз}}}{S_{\text{НОМ}}} = \frac{16}{25} = 0,64.$$

Таблиця 6.4. Навантаження власних потреб на ЦРП

№ п/п	Споживач	Потужність, кВт
1	Обігрів комірок КРП 10 кВ.	8×1
2	Освітлення, опалення і вентиляція приміщення ЗРУ	10
3	Навантаження яке споживають оперативні кола	2,0
<i>Всього</i>		20

7. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПРИ ПАСТЕРІЗАЦІЇ ПИВА

Пастеризація пива—це процес короткочасного нагрівання напою до певної температури з метою знищення мікроорганізмів, що можуть викликати його псування. Ця технологія, названа на честь Луї Пастера, широко використовується в пивоварінні для забезпечення стабільності та тривалого терміну зберігання продукту.

Завдяки термообробці пиво зберігає свій первинний смак і аромат протягом усього періоду зберігання, що гарантує споживачам стабільну якість продукту.

Пастеризація є найнадійнішим методом забезпечення стабільності напоїв, особливо тих, що містять тверді речовини, які піддаються бродінню. Пастеризація пива в скляних пляшках займає приблизно 6-7 хвилин при оптимальній температурі 65°C.

Для прикладу на рис. 7.1. показано розливний апарат пива у пляшки.

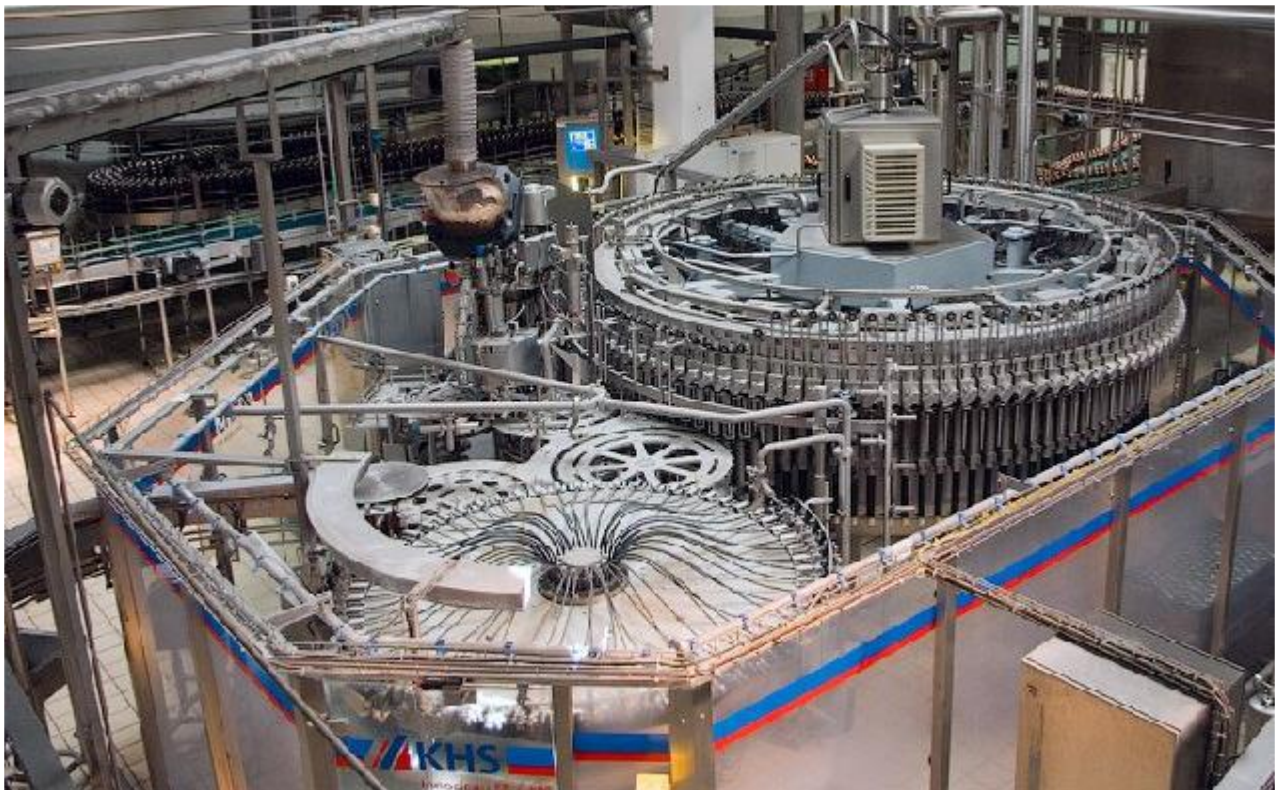


Рис. 7.1. Розливний апарат пива у пляшки на заводі

7.1. Вибір технічних засобів для вимірювання, виконавчих механізмів та регулюючих органів

На початковій стадії вирішення цього питання необхідно конкретно обрати прилади, за допомогою котрих буде здійснюватися процес автоматизації.

Вимірювання тиску

Для вимірювання тиску використовуємо вимірювальний перетворювач тиску SITRANS P, серії Z (рис. 7.2).



Рис. 7.2 – Вимірювальний перетворювач тиску SITRANS P, серії Z

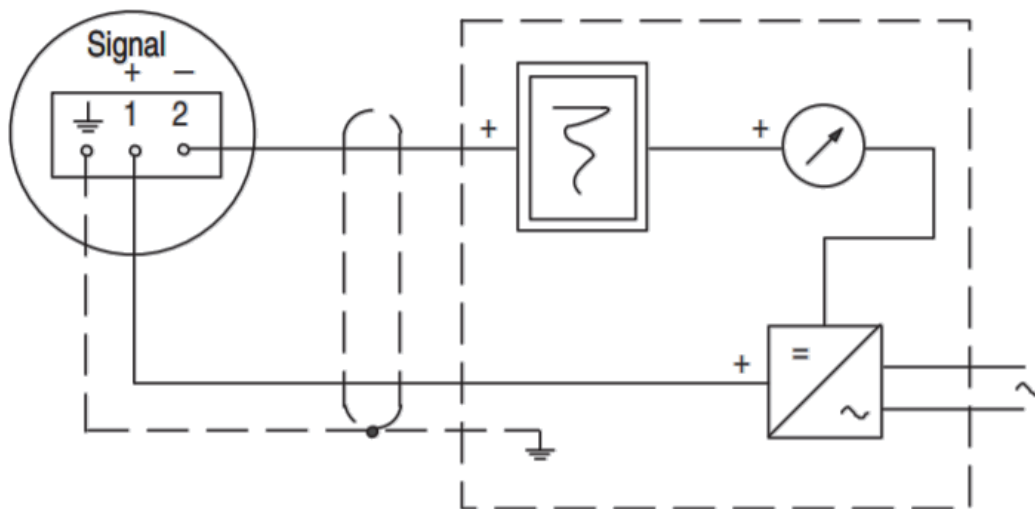


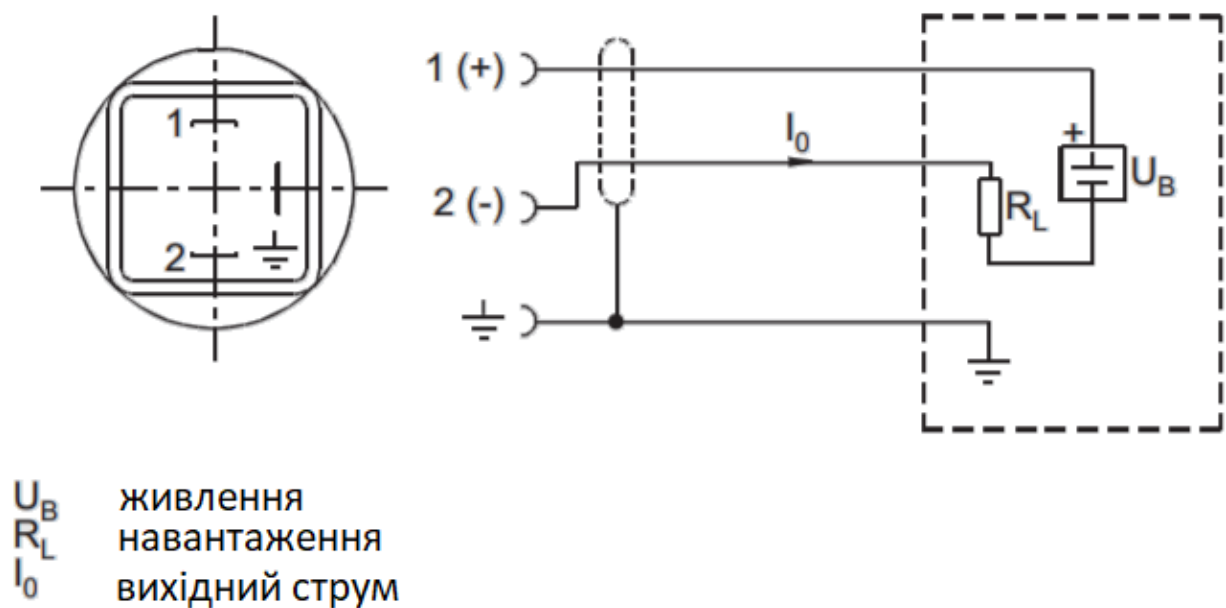
Рис. 7.3 Електрична схема з'єднання SITRANS P, серії Z

Вимірювання температури

В запропонованій системі датчиком температури в охолоджувачі та пастеризаторі використовуємо термометр опору фірми Siemens Sitrans TF2 (рис. 7.4).



Рис. 7.4 Датчик термометр опору SIRTRANS TF 2 (Siemens)



U_B живлення
 R_L навантаження
 I_0 вихідний струм

Рис. 7.5 Електрична схема підключення термометру опору SIRTRANS TF 2

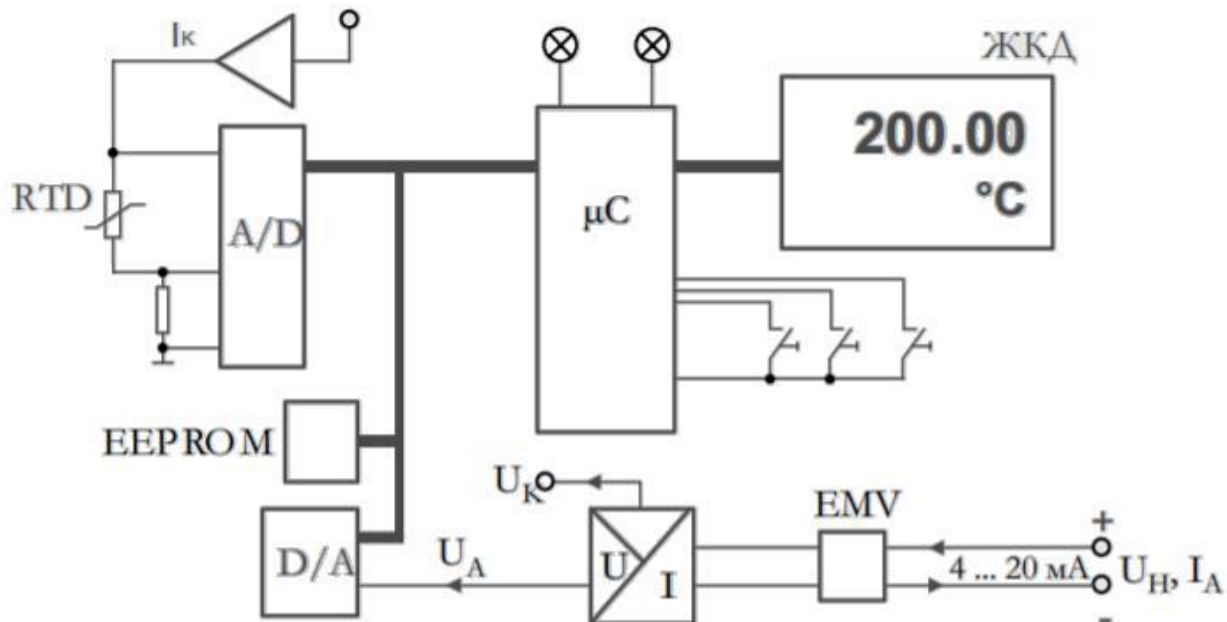


Рис. 7.6 – Будова SIRTRANS TF 2

Вимірювання витрати пива

Для цієї функції був обраний індукційний електромагнітний витратомір Sitrans FM MAGFLO MAG 3100 (рис. 7.7).



Рис. 7.7 Електромагнітний витратомір Sitrans FM MAGFLO
MAG 3100

Електрична схема підключення клем витратоміра зображена на рис.

7.8.

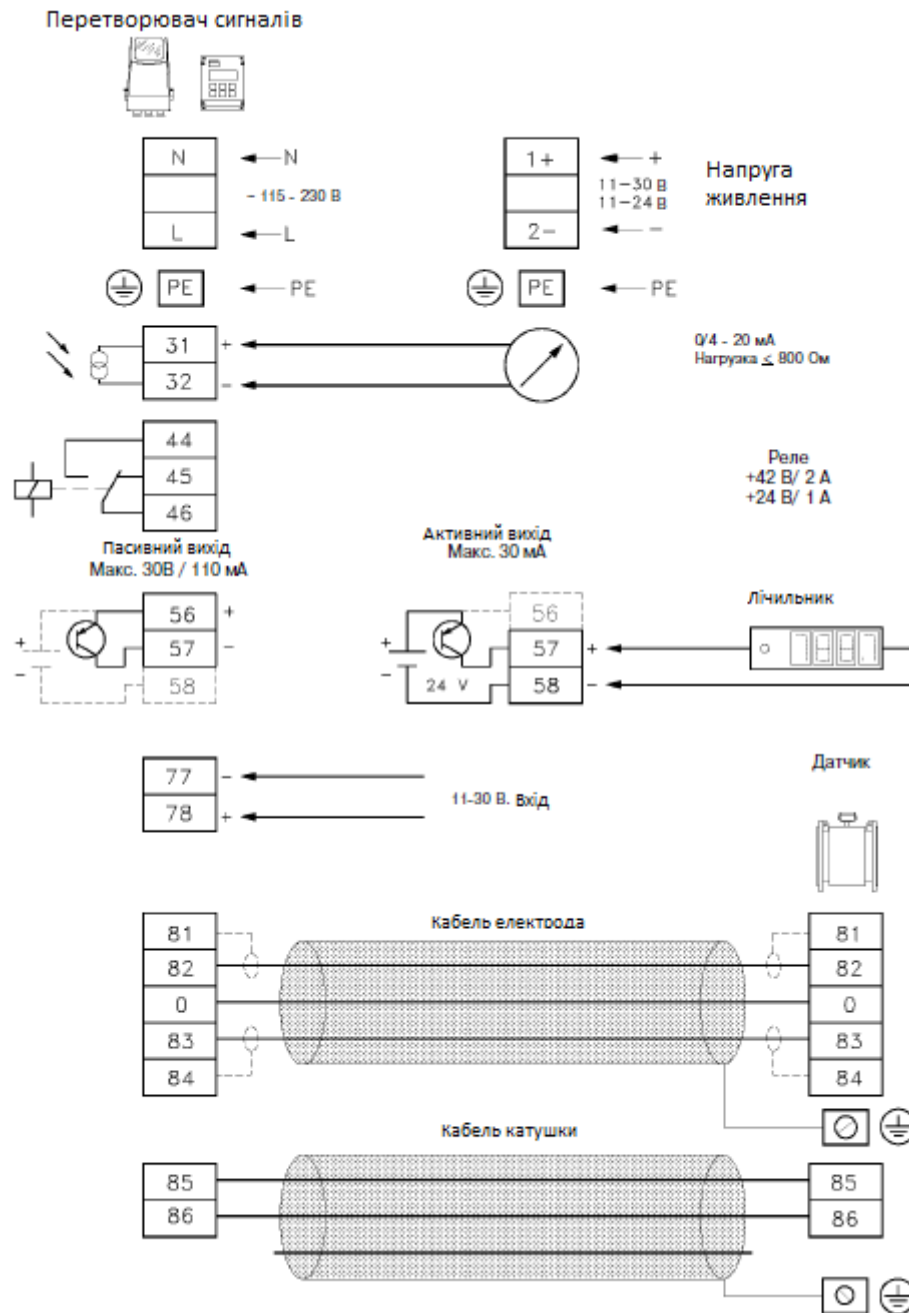


Рис 7.8 Електрична схема підключення Sitrans FM MAG FLO MAG 3100

Для процесу вимірювання витрат стисненого повітря та пари був використаний витратомір вихровий Sitrans FX 300 (рис. 7.9).



Рис. 7.9 Витратомір вихровий Sitrans FX 300

Перетворювачі електропневматичні

В запропонованій системі автоматизації були використані електропневматичні перетворювачі Sentronic LP G617A45200A003 (рис. 7.10).



Рис. 7.10 – Електропневматичний перетворювач Sentronic LP
G617A45200A003

Пневматичні клапани

В запропонованій системі автоматизації застосовуються пневматичні клапани ADCATrol PV.25G.11L100.1R15 (рис. 7.11).



Рис. 7.11 – Пневматичний клапан ADCA Trol PV.25G.11L100.1R15

Частотні перетворювачі

В якості частотного перетворювача для керування приводами насосів було використано Lenze ESMD 402 L4TXA (рис. 7.12).



Рис. 7.12 – Частотний перетворювач Lenze ESMD 402 L4TXA

Електрична схема підключення клем частотного перетворювача показана на рис. 7.13.

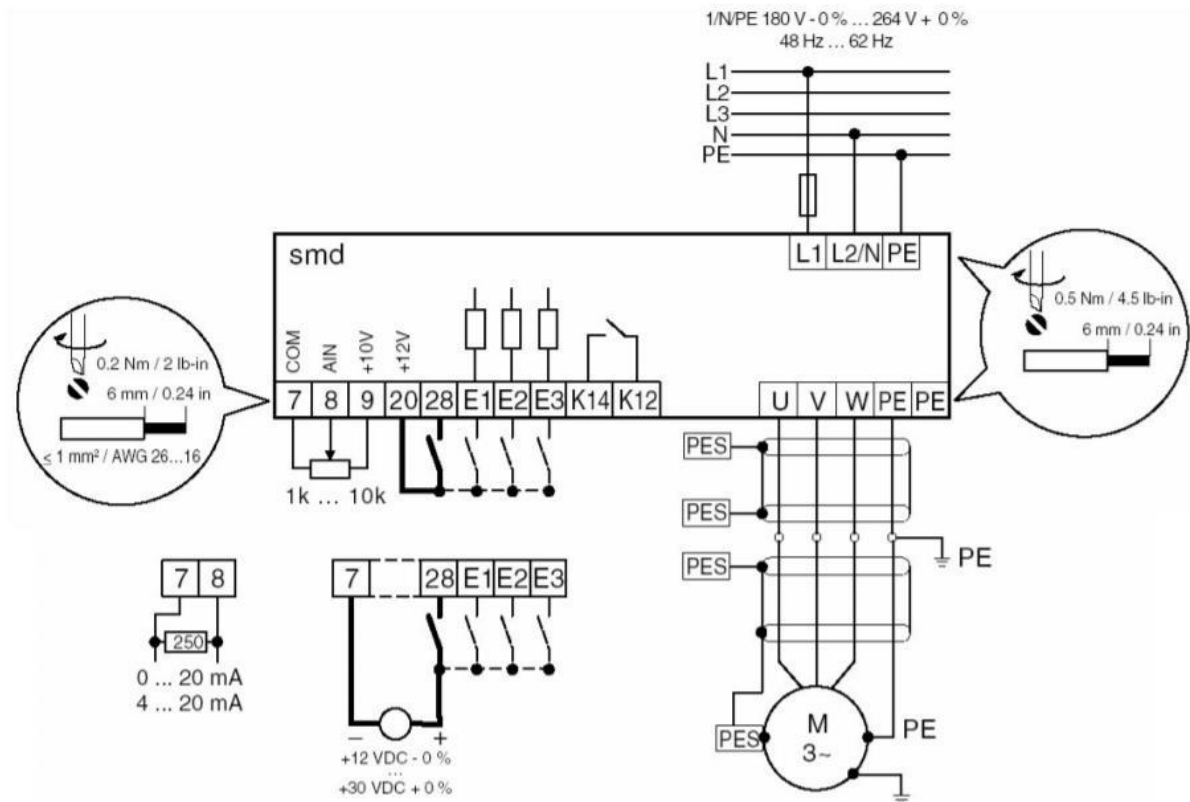


Рис. 7.13 Електрична схема підключення клем Lenze ESMD 402 L4 TXA

Температура пива після охолоджувача та пастеризатора регулюється терморезистором SIRTRANS TF2. Звідти стандартизований сигнал 4-20 мА надсилається до ПЛК, де він обробляється; вихідний сигнал управління приблизно 4-20 мА з ПЛК надходить на електропневматичний перетворювач Sentronic LP G617A45200A003, де він перетворюється в уніфіковане значення 20-100 кПА в уніфікований пневматичний сигнал, який надходить на пневматичний клапан ADCA Tro1 PV25G 11L100 1R15. Інформація про ці параметри передається на ПК.

Під час розробки принципової електричної схеми живлення в даному розділі знайшли застосування наступні компоненти:

–вимикачі QF1-QF11 в кількості 11 шт., для комутації певних кіл із застосуванням вбудованих елементів захисту по струму щодо системи автоматизації;

– блоки живлення (БлЖ1-БлЖ2) або перетворювачі напруги в кількості 2 шт., для перетворення фазної змінної напруги 220 В у постійну напругу 24 В, для живлення низьковольтного навантаження, тобто магнітних пускачів, датчиків, електропневматичних перетворювачів та аналогових модулів.

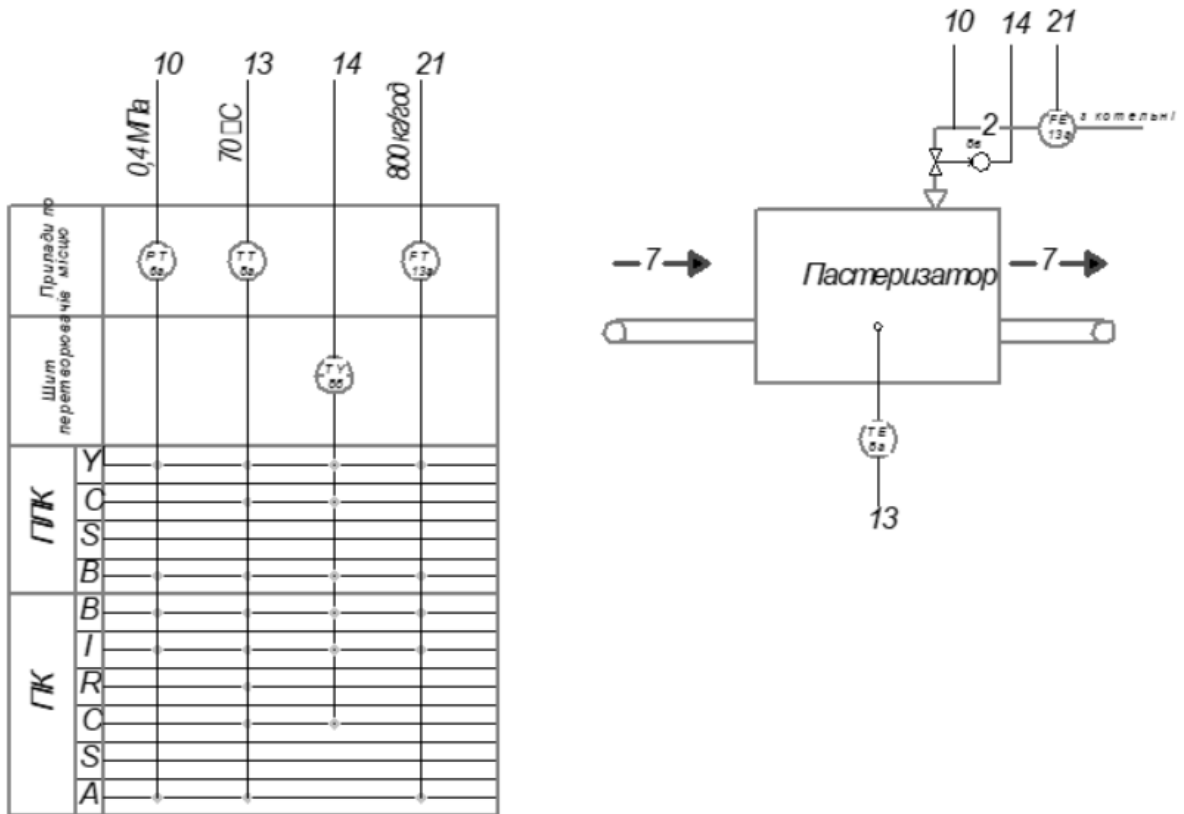


Рис. 7.14 – Схема автоматизації контуру регулювання температури у пастеризаторі

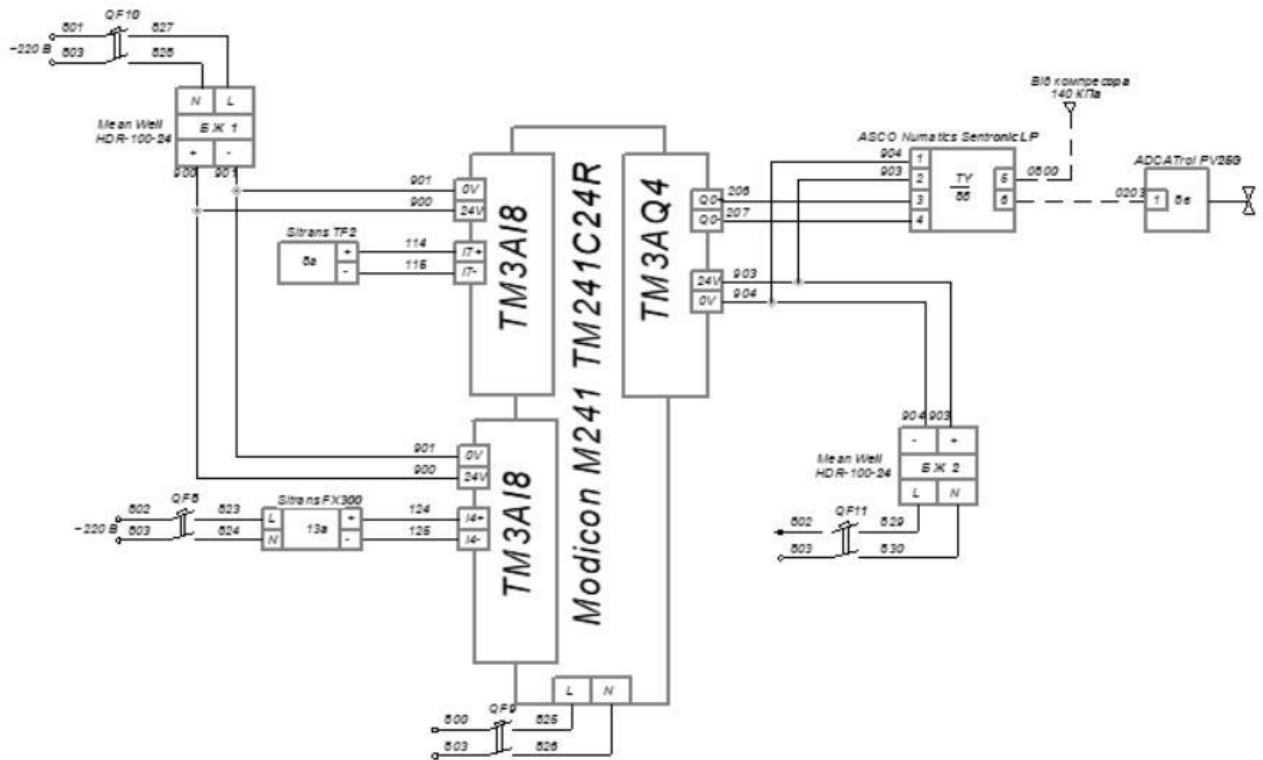


Рис. 7.15 Електрична схема підключення витратоміра, термометра опору та пневматичного клапану до модулів ПЛК

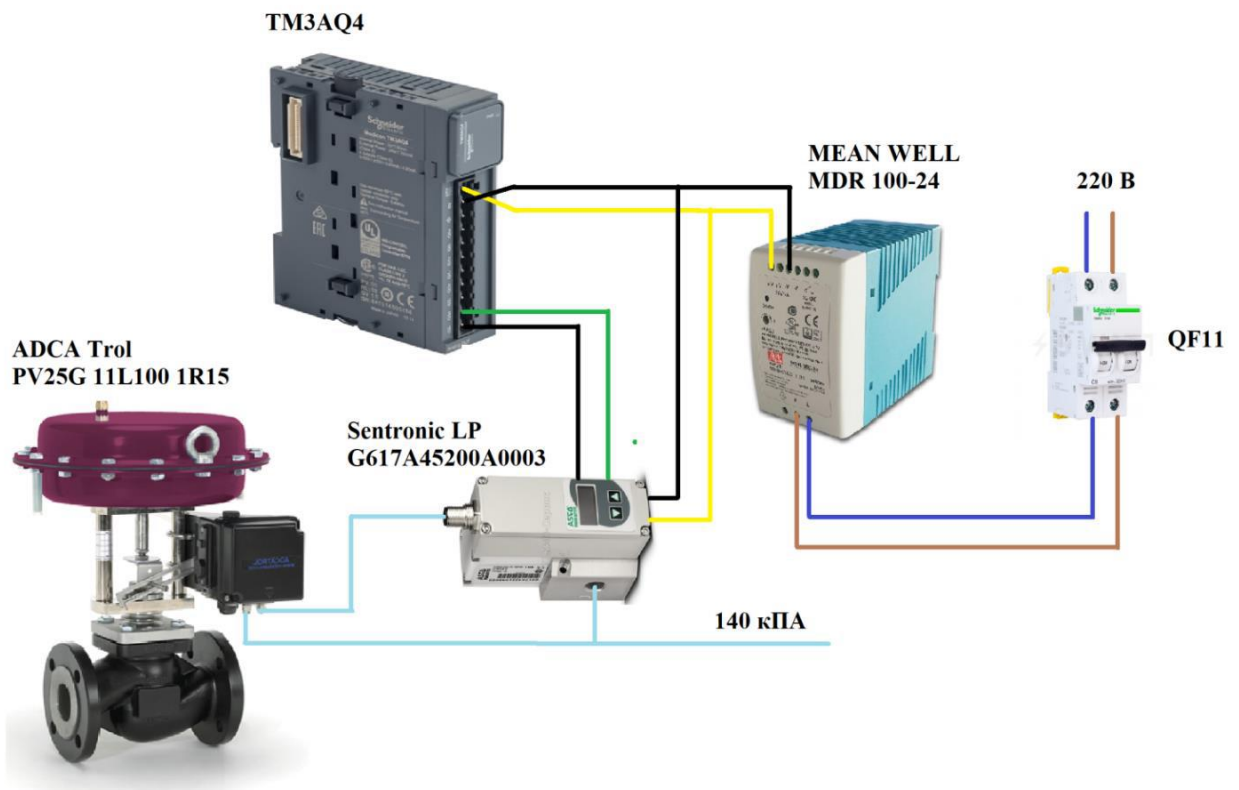


Рис. 7.16 Графічна схема підключення пневматичного клапану до вихідного модуля

7.2. Опис алгоритму регулювання температури

Алгоритм функціонування технологічної ділянки, у даному випадку лінії що відповідає за регулювання температури представлено на рис. 7.17.

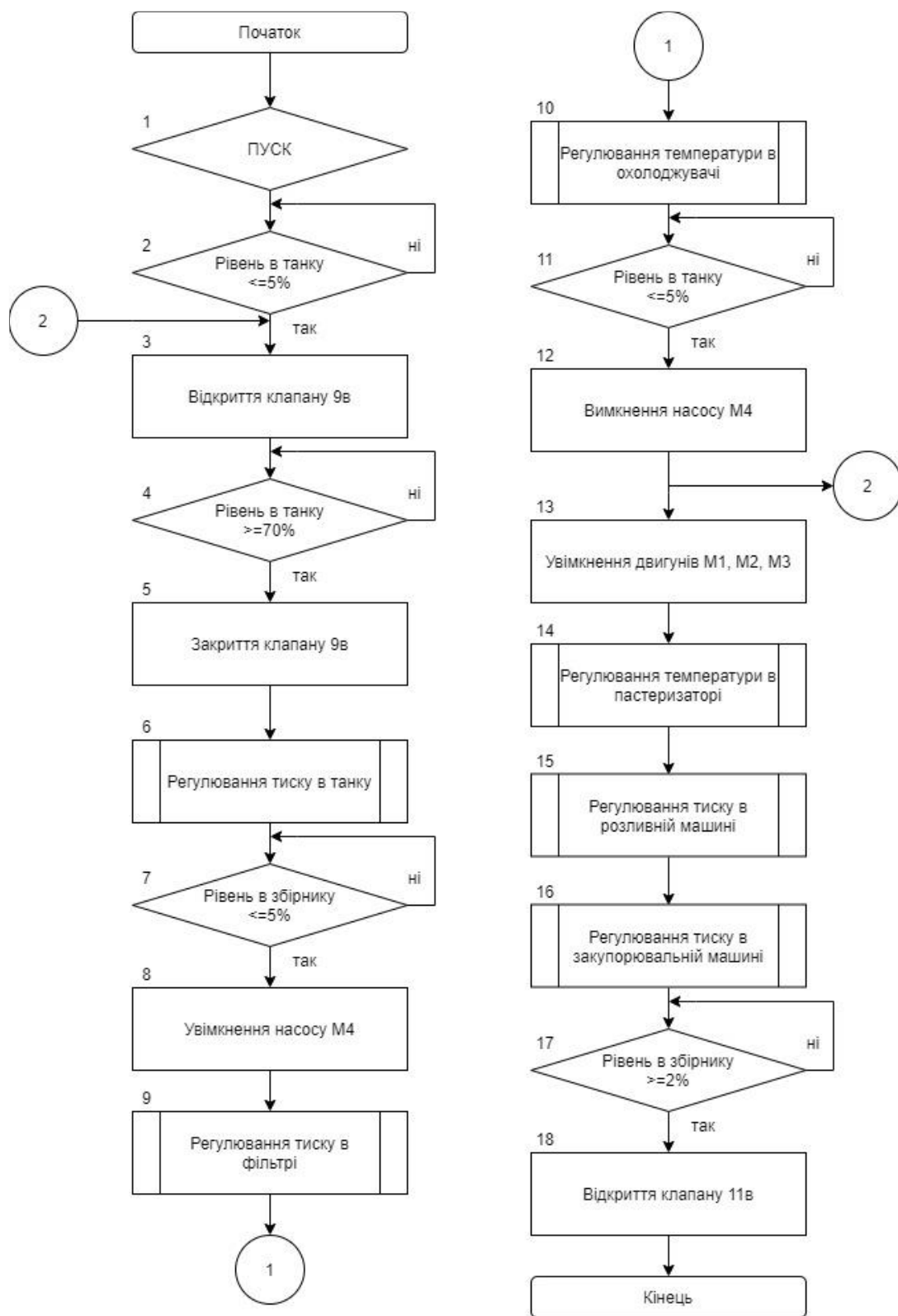


Рис. 7.17 – Блок-схема алгоритму функціонування технологічного процесу регулювання температури при пастеризації

На рис. 7.18 в якості прикладу показано схему автоматичного режиму роботи лінії розливу смачного пива.

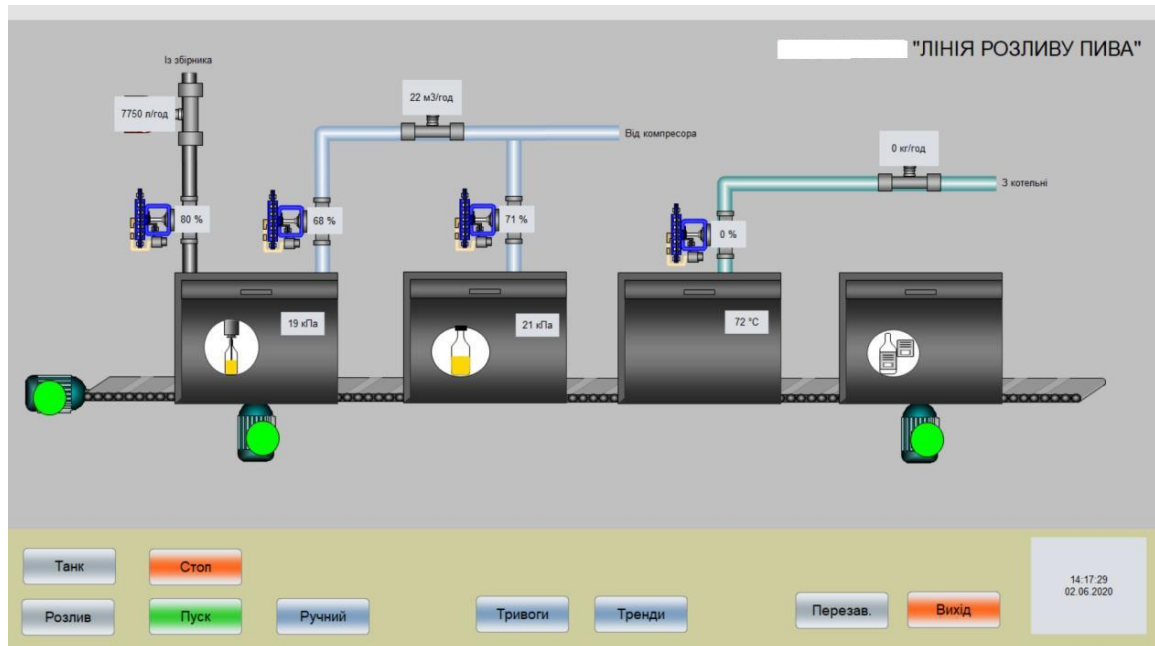


Рис. 7.18 Зображення автоматичного режиму роботи розливу лінії

7.3. Комп'ютерне моделювання (САР) системи автоматичного регулювання

Постановка задачі в роботі це: дослідження стійкості САР за критерієм Рауса-Гурвіша.

За об'єкт керування був вибраний контур керування температури у пастеризаційній установці.

Вибираємо входні, вихідні канали та збурення системи (рис. 7.19).

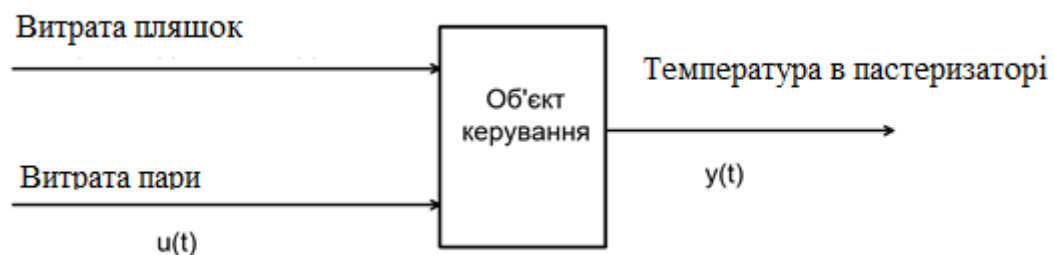


Рис. 7.19 Об'єкт керування

Вибираємо в нашій роботі математичну модель, яка має вигляд: $W1(s)$ $W1(s)$ із представленими далі параметрами: K , $T1$, $T2$, $T3$. Цей об'єкт керування має сам по собі позитивне самовирівнювання [12].

Необхідні коефіцієнти математичної моделі прийняті згідно опису технологічного процесу, який описує розлив пива, та який наведено у відповідній літературі.

Визначимо передавальну функцію каналу керування:

$$W_{yu}(s) = \frac{1.7}{(15.3s+1)(7.2s+1)(3.1s+1)}; \quad (7.1)$$

$$W_{zy}(s) = \frac{0.1}{15.3s+1}; \quad (7.2)$$

Визначаємо передаточну функцію нашого об'єкта керування:

$$\begin{aligned} W(p) &= \frac{1.7}{(15.3s+1)(7.2s+1)(3.1s+1)} + \frac{0.1}{15.3s+1} = \frac{1.7 + 0.1(7.2s+1)(3.1s+1)}{(15.3s+1)(7.2s+1)(3.1s+1)} \\ &= \frac{2.232s^2 + 1.03s + 1.8}{341.496s^3 + 179.91s^2 + 25.6s + 1}; \end{aligned}$$

Для вирішення питання щодо дослідження системи автоматичного керування на стійкість як правило доречно використовувати характеристичний поліном замкненої системи, у даному випадку $D(p)$, який знаходиться шляхом прирівняння знаменника передаточної функції нашої замкнутої системи до нуля.

$$D(p) = 341.496s^3 + 179.91s^2 + 25.6s + 1 = 0 \quad (7.3)$$

Для визначення стійкості системи було обрано критерій Рауша-Гурвіша. Суть його полягає у тому, що матриця повинна бути побудована так, щоб на головній діагоналі знаходилися коефіцієнти $D(p)$ від a_1 до a_n , а

над головною діагоналлю - коефіцієнти з показником індексів, більшими за коефіцієнти на головній діагоналі, під головною діагоналлю - коефіцієнти з показниками індексів меншими й нуль, якщо коефіцієнт взагалі відсутній. Якщо усі наші коефіцієнти більші за нуль, то система стійка, якщо хоча б якийсь один коефіцієнт менший за нуль, то система нестійка, а якщо хоча б один коефіцієнт буде дорівнювати нулю, то система знаходиться на межі стійкості.

$$\Delta_1 = a_1 = 341.496 > 0;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix}; \Delta_2 = 4.2642e+03 > 0;$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix}; \Delta_3 = 4.2643e+03 > 0.$$

Звідси висновок: як бачимо усі визначники виявилися більшими за нуль, що свідчить про стійкість нашої системи.

Дійшла черга до перевірки стійкості системи в середовищі Matlab Simulink. Контур регулювання температури це ПІ-регулятор, який має високу швидкість та задовільну якість регулювання.

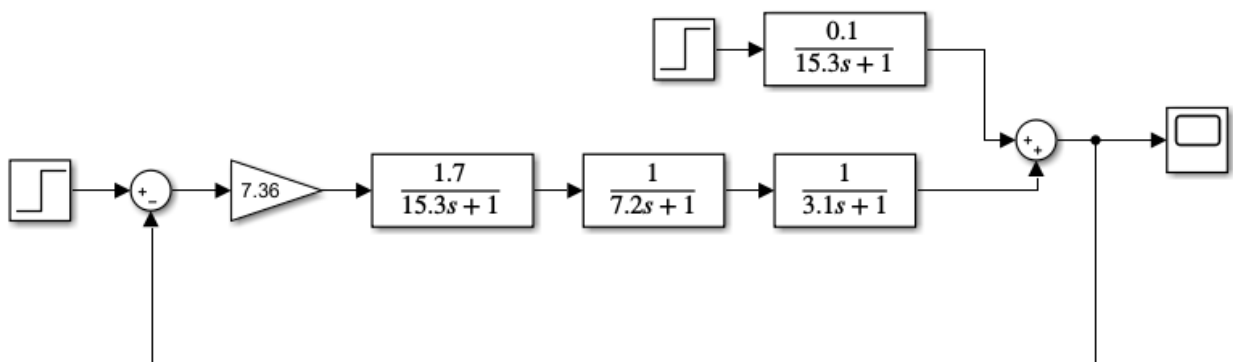


Рис. 7.20 Структурна схема об'єкту автоматизації на межі стійкості

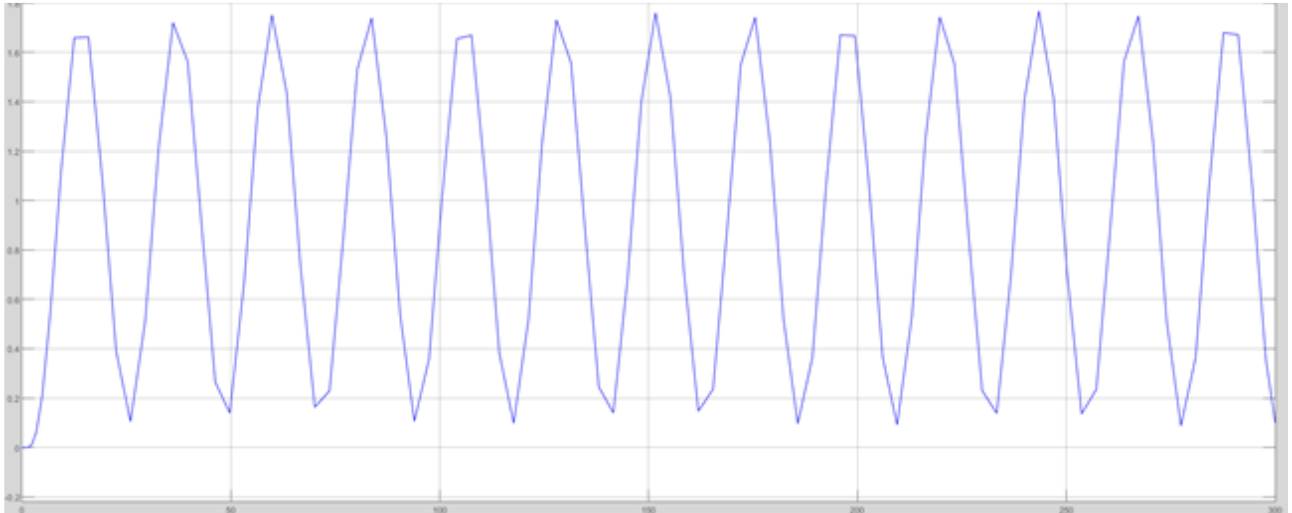


Рис. 7.21 Перехідний процес при відповідному $K_{кр}$

Спроектована система на межі стійкості об'єкту при наступних отриманих коефіцієнтах: $K_{кр}=7,370$; $T_{i,кр}=20$ с.

За допомогою одержаних виразів (7.1)-(7.2) можемо визначити оптимальні, на наш погляд налаштування ПІ-регулятора:

$$K_p = 0,45 * K_{кр};$$

$$T_i = T_{i,кр} / 1,2$$

$$K_p = 0,450 * 7,36 = 3,3110;$$

$$T_i = 20 / 1,20 = 16,68$$

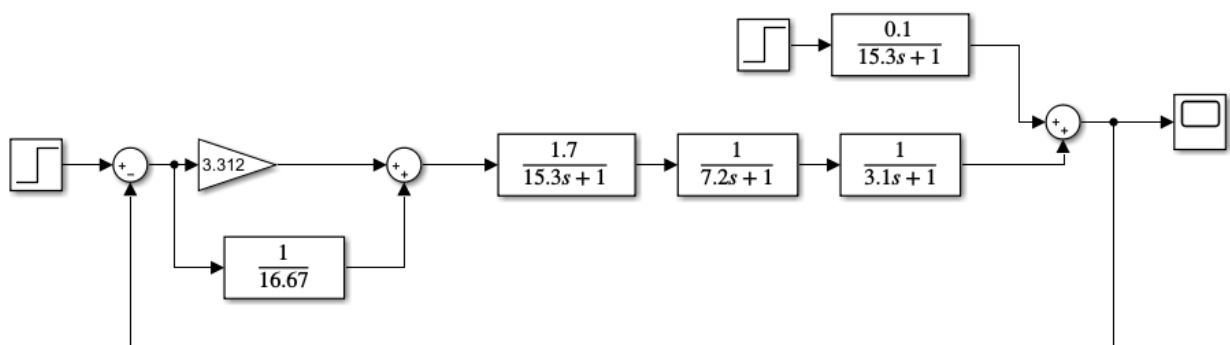


Рис. 7.22 Структурна схема об'єкту автоматизації з ПІ-регулятором



Рис. 7.23 Результати переходного процесу із ПІ-регулятором

Як видно з графіка, перехідний процес показує, що розраховані нами налаштування ПІ-регулятора є оптимальними для даного об'єкта. Таким чином, розроблена система характеризується використанням сучасних вимірювальних приладів, виконавчих механізмів та регуляторів. Керування системою здійснюється за допомогою потужного мікропроцесорного пристрою, що дозволяє розширювати функції та реалізовувати сучасні конструкторські рішення. При розробці спроектованої системи автоматизації були дотримані вимоги, що пред'являються до сучасних систем автоматизації.

ВИСНОВКИ

У ході виконання роботи було розглянуто та спроектовано систему електропостачання пивного заводу продуктивністю 50 тис. гектолітрів на рік.

Визначено основні групи споживачів, їх навантаження та способи живлення для забезпечення рівномірного розподілу енергоресурсів та зменшення втрат електроенергії.

Розроблена система електропостачання дозволяє безперебійно забезпечувати всі виробничі процеси, включаючи варильний, бродильний та розливний цехи, а також допоміжні підрозділи.

Запропонована система має потенціал для розширення та інтеграції новітніх технологій, зокрема автоматизованих систем керування електропостачанням

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Електротехнічні системи електроспоживання / [Плешков П.Г., Зінзура В.В., Гарасьова Н.Ю., Котиш А.І., Величко Т.В.]; – М.-во освіти і науки України, Центральноукр. Нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ПП «Ексклюзив –Систем», 2021. – 209 с.
2. Шкрабець Ф.П., Плешков П.Г. Основи електропостачання. Навчальний посібник –Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2010. – 408 с.
3. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П. Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 540 с.
4. Мілих В.І. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків: ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.
5. Плешков П.Г., Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. - Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007. – 386 с.
6. Надійність електроенергетичних систем: Практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С.В. Казанський. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 67 с.
7. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання / Орлович А.Ю., Плешков П.Г., Козловський О.А., Співак О.В., Котиш А.І., Величко Т.В. Навчальний посібник. Видавець Лисенко В.Ф., м.Кропивницький, 2020р. – 272 с.
8. Черемісін М. М., Мороз О. М., Єгоров О. Б., Швець С. В. Перехідні процеси в системах електропостачання: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / М. М. Черемісін, О. М. Мороз, О. Б. Єгоров, С. В. Швець. — Харків: ТОВ "В справі", 2016. — 260 с.
9. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: Підручник. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2013. – 533 с.
10. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво «Форт», 2017. - 760 с.

11. Воробієнко П.П., Нікітюк Л.А., Резніченко П.І. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: Підручник. К.: САММІТ-Книга, 2010. 708 с.

12. Хорольський, В.П. Автоматизація виробничих процесів: підручник / В. П. Хорольський, Ю. М. Коренець. – Кривий Ріг: [ДонНУЕТ], 2022. – 400 с.

13. Шевченко В.В., Тимчик Г.С. Основи автоматизації технологічних процесів. Конспект лекцій. Навчальний посібник. Електронне мережне навчальне видання. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/97358d2f-ecf9-44a1-a78f-6510ffef424c/content>

14. Єремєєв І.С., Кисельов В.Б. Автоматизовані системи управління технологічними процесами: навчальний посібник – К. : Видавництво «Гельветика», 2022. – 324 с.