

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

«Допущено до захисту»

Зав. кафедри ЕТС та ЕМ

канд. техн. наук, професор

Петро ПЛЄШКОВ

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ**

**ВИЩОЇ ОСВІТИ**

на тему:

### **«Розроблення системи електропостачання підприємства гідравлічного обладнання»**

Виконав здобувач вищої освіти

ІІІ курсу, групи ЕЕ-22мб,

ОПП «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

Василь ХІМОНЕНКО

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

Валентин СОЛДАТЕНКО

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

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 ЕТС та ЕМ

\_\_\_\_\_ Петро ПЛІШКОВ

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

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

Хімоненка Василя Васильовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи електропостачання підприємства гідравлічного обладнання

Development of a power supply system for a hydraulic equipment enterprise

2. Керівник роботи Солдатенко Валентин Петрович, канд. техн. наук, доцент

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

3. Строк подання роботи до захисту 02.06.2025 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи. Метою роботи є розроблення системи електропостачання підприємства гідравлічного обладнання. Для досягнення поставленої мети роботи необхідно вирішити наступні завдання: 1. Провести розрахунок електричних навантажень. 2. Провести розрахунок картограми електричних навантажень. 3. Здійснити техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання. 4. Провести розрахунок режимів реактивної потужності системи електропостачання. 5. Здійснити вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства. 6. Провести розрахунок струмів коротких замкнень та здійснити вибір високовольтного обладнання. 7. Провести розрахунок спеціального розділу роботи.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>03.02-19.02</i>	
2	<i>Картограма електричних навантажень</i>	<i>20.02-28.02</i>	
3	<i>Техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання</i>	<i>01.03-12.03</i>	
4	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>	<i>13.03-01.04</i>	
5	<i>Вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства</i>	<i>02.04-12.04</i>	
6	<i>Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання</i>	<i>13.05-01.05</i>	
7	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>02.05-20.05</i>	
8	<i>Оформлення презентаційної частини БКР</i>	<i>21.05-26.05</i>	
9	<i>Оформлення пояснювальної записки БКР</i>	<i>27.05-30.05</i>	

Дата видачі завдання  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

Підпис керівника \_\_\_\_\_

Валентин СОЛДАТЕНКО

Завдання прийнято до виконання  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

Підпис здобувача \_\_\_\_\_

Василь ХІМОНЕНКО

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 74 с.; 18 рис.; 22 табл.; 5 джерел

### **Хімоненко В. В. Розроблення системи електропостачання підприємства гідравлічного обладнання. – Рукопис.**

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2025 рік.

У кваліфікаційній роботі вирішувалося завдання щодо проектування електропостачальної системи для підприємства з виробництва гідравлічного устаткування.

Виконаний комплекс розрахунків електричних навантажень дозволив визначити основні параметри графіків споживання електроенергії. Додатково проаналізовано режими функціонування реактивної потужності та досліджено особливості коротких замикань у мережевій структурі. Отримані результати обчислень стали підґрунтям для обґрунтованого відбору компонентів високовольтної електромережі виробничого об'єкта.

Розроблена у такий спосіб електропостачальна система повністю задовольняє ключові технічні критерії. Зокрема, забезпечується необхідний рівень експлуатаційної надійності, функціональної гнучкості та зручності проведення ремонтно-профілактичних заходів. Крім того, система характеризується економічною доцільністю та відповідає сучасним стандартам енергоефективності.

**Ключові слова:** електричні навантаження, система електропостачання, високовольтна електромережа, реактивна потужність, короткі замикання

## ABSTRACT

Qualification work: 74 p.; 18 Fig.; 22 tables; 5 sources

### **Khimonenko V. Development of a power supply system for a hydraulic equipment enterprise. – Manuscript.**

Bachelor's thesis on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025.

The qualification work solved the problem of designing a power supply system for a hydraulic equipment manufacturing enterprise.

The completed set of electrical load calculations allowed us to determine the main parameters of electricity consumption schedules. Additionally, the reactive power operating modes were analyzed and the features of short circuits in the network structure were investigated. The obtained calculation results became the basis for a well-founded selection of components of the high-voltage power network of the production facility.

The power supply system developed in this way fully satisfies the key technical criteria. In particular, the required level of operational reliability, functional flexibility and convenience of carrying out repair and preventive measures is ensured. In addition, the system is characterized by economic feasibility and meets modern energy efficiency standards.

**Keywords:** electrical loads, power supply system, high-voltage power grid, reactive power, short circuits













Таблиця 1.3. Силкові навантаження вище 1 кВ

Назва	N спож шт		P одн.сп. кВт		P сум, кВт	m	K <sub>B</sub>	cosφ	tgφ	Сер. зм. нав.		n <sub>эф</sub>	K <sub>p</sub>	Розрах навантаж.		
	мін, кВт	мак, кВт	P <sub>зм</sub> , кВт	Q <sub>зм</sub> , квар						P <sub>розр</sub> , кВт	Q <sub>розр</sub> , квар			S <sub>розр</sub> , кВА		
1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ТП-1, ТП-2																
Блок цехів №1																
силове:	83	2	145		2181	72,5	0,20	0,65	1,17	436,2	509,97	30	1,44	627,86	509,97	808,87
освітлювальне:										18,96				21,61	10,46	
Всього:										455,16	509,97			649,47	520,43	832,26
Блок цехів №4																
силове:	46	3,5	547,5		2590	156,4	0,20	0,65	1,17	518	605,61	9	1,89	980,16	666,17	1185,11
освітлювальне:										10,61				12,1	5,86	
Всього:										528,61	605,61			992,26	672,03	1198,42
Пожежне дело																
силове:	51	2,75	275		635	100,0	0,35	0,70	1,02	222,25	226,74	5	1,85	411,84	249,41	481,47
освітлювальне:										5,81				6,62	3,2	
Всього:										228,06	226,74			418,46	252,61	488,8
Всього по ТП-1, ТП-2:																
силове:	180	2	547,5		5406	273,7	0,22	0,66	1,14	1176,45	1342,32	20	1,52	1791,67	1342,32	2238,73
освітлювальне:										35,38				40,33	19,52	
БК 0,4 кВ											-482				-482	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП-1, ТП-2:										1211,83	860,32			1832	879,84	2032,32
Втрати в трансформаторах:														22,49	117,72	
Кількість трансформаторів: 3																
Номинальна потужність, кВА: 1000																
Коефіцієнт завантаження: K <sub>з</sub> = 0,68																
Всього на шинах 10 кВ ТП-1, ТП-2:														1854,49	997,56	2105,77
ТП-3																
Блок цехів №2																
силове:	48	1,5	85		2102	56,7	0,20	0,65	1,17	420,4	491,5	48	1,34	562,03	491,5	746,63
освітлювальне:										15,43				17,59	8,51	
Всього:										435,83	491,5			579,62	500,01	765,49
Насосна																

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
силосе:	55	3,5	37,5	523	10,7	0,50	0,65	1,17	261,5	305,73	28	1,21	315,49	305,73	439,32
освітлювальне:									9,81				11,18	5,41	
Всього:									271,31	305,73			326,67	311,14	451,13
Складальний цех №1															
силосе:	87	4,2	38,5	1920	9,2	0,20	0,65	1,17	384	448,95	87	1,24	476,79	448,95	654,89
освітлювальне:									23,65				26,96	13,05	
Всього:									407,65	448,95			503,75	462	683,53
Склад масел та хімікатів															
силосе:	39	2,25	17,5	390	7,8	0,20	0,65	1,17	78	91,19	39	1,38	107,54	91,19	141
освітлювальне:									19,46				22,18	10,74	
Всього:									97,46	91,19			129,72	101,93	164,98
Всього по ТП-3:															
силосе:	229	1,5	85	4935	56,7	0,23	0,65	1,17	1143,9	1337,37	116	1,19	1356,41	1337,37	1904,84
освітлювальне:									68,35	-1439			77,91	37,71	
БК 0,4 кВ														-1439	
Всього на шинях 0,4 кВ ТП-3:									1212,25	-101,63			1434,32	-63,92	1435,74
Врати в трансформаторах:													16,24	84,69	
Кількість трансформаторів: 2															
Номинальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,72															
Всього на шинях 10 кВ ТП-3:													1450,56	20,77	1450,71
ТП-4															
Заводу управління															
силосе:	50	1,25	28	410	22,4	0,20	0,65	1,17	82	95,87	29	1,45	118,73	95,87	152,6
освітлювальне:									20,27				23,11	11,19	
Всього:									102,27	95,87			141,84	107,06	177,71
Кузня															
силосе:	21	1,15	37,5	200	32,6	0,40	0,65	1,17	80	93,53	11	1,46	116,45	93,53	149,36
освітлювальне:									2,88				3,28	1,59	
Всього:									82,88	93,53			119,73	95,12	152,92
Цех механічної обробки															

Продовження табл. 1.3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
силове:		127	2,75	145	1560	52,7	0,30	0,59	1,37	468	640,45	22	1,39	650,41	640,45	912,8
освітлювальне:										10,92				12,45	6,03	
Всього:										478,92	640,45			662,86	646,48	925,92
Ремонтний цех																
силове:		42	1,15	27	380	23,5	0,20	0,65	1,17	76	88,85	28	1,46	110,73	88,85	141,97
освітлювальне:										15,72				17,92	8,67	
Всього:										91,72	88,85			128,65	97,52	161,43
Генераторена																
силове:		15	5,5	12,5	280	2,3	0,30	0,70	1,02	84	85,7	15	1,49	124,92	85,7	151,49
освітлювальне:										2,91				3,32	1,61	
Всього:										86,91	85,7			128,24	87,31	155,14
Всього по ТП-4:																
силове:		255	1,15	145	2830	126,1	0,28	0,62	1,27	790	1004,4	39	1,30	1025,12	1004,4	1435,16
освітлювальне:										52,7				60,08	29,09	
БК 0,4 кВ											-225				-225	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП-4:										842,7	779,4			1085,2	808,49	1353,26
Втрати в трансформаторах:														14,97	78,36	
Кількість трансформаторів: 2																
Номинальна потужність, кВА: 1000																
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,68																
Всього на шинах 10 кВ ТП-4:														1100,17	886,85	1413,11
ТП-5																
Гараж																
силове:		14	4,5	13,5	140	3,0	0,18	0,60	1,33	25,2	33,6	14	1,73	43,68	33,6	55,11
освітлювальне:										11,94				13,61	6,59	
Всього:										37,14	33,6			57,29	40,19	69,98
Котельня																
силове:		48	4,5	112,5	1750	25	0,4	0,65	1,17	700	818,39	31	1,25	874,29	818,39	1197,56
освітлювальне:										17,5				19,95	9,66	
Всього:										717,5	818,39			894,24	828,05	1218,74
Ідальня																
силове:		35	1	35	105	35	0,6	0,8	0,75	63	47,25	6	1,4	88,07	51,98	102,27
освітлювальне:										13,56				15,46	7,48	

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Всього:									76,56	47,25			103,53	59,46	119,39
Територія заводу															
освітлювальне:									8,01				8,97	15,54	
Всього:									8,01	0			8,97	15,54	17,94
Всього по ТП-5:															
силове:	97	1	112,5	1995	112,5	0,4	0,66	1,14	788,2	899,24	35	1,24	973,6	899,24	1325,34
освітлювальне:									51,01	-67			57,99	39,27	
БК 0,4 кВ									839,21	832,24			1031,59	871,51	1350,45
Всього на шинях 0,4 кВ ТП-5:													14,93	78,15	
Втрати в трансформаторах:															
Кількість трансформаторів: 2															
Номинальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,68															
Всього на шинях 10 кВ ТП-5:													1046,52	949,66	1413,17
ТП-6, ТП-7															
Блок цехів №3															
силове:	47	2,5	350	3456	140,0	0,20	0,65	1,17	691,2	808,1	20	1,55	1074,42	808,1	1344,4
освітлювальне:									16,81				19,16	9,27	
Всього:									708,01	808,1			1093,58	817,37	1365,29
Блок цехів №5															
силове:	61	3,75	47,5	910	12,7	0,20	0,65	1,17	182	212,78	38	1,38	251,94	212,78	329,77
освітлювальне:									25,65				29,24	14,15	
Всього:									207,65	212,78			281,18	226,93	361,33
Складальний цех №2															
силове:	22	5,3	17,5	420	3,3	0,20	0,65	1,17	84	98,21	22	1,52	128,08	98,21	161,4
освітлювальне:									8,89				10,13	4,9	
Всього:									92,89	98,21			138,21	103,11	172,43
Блок цехів №6															
силове:	90	10	100	1400	10,0	0,70	0,85	0,62	980	607,35	28	1,11	1087,83	607,35	1245,89
освітлювальне:									19,08				21,75	10,53	
Всього:									999,08	607,35			1109,58	617,88	1270,02

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Всього по ТП-6, ТП-7:															
силowe:	220	2,5	350	6186	140,0	0,31	0,75	0,89	1937,2	1726,44	35	1,29	2496,73	1726,44	3035,5
освітлювальне:									70,43				80,28	38,85	
БК 0,4 кВ										-900				-900	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП-6, ТП-7:					2007,63					826,44			2577,01	865,29	2718,4
Втрати в трансформаторах:													30,12	157,61	
Кількість трансформаторів: 4															
Номинальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,68															
Всього на шинах 10 кВ ТП-6, ТП-7:													2607,13	1022,9	2800,62
Всього по об'єкту	981	1	547,5	21352	547,5	0,27	0,88	0,55	5835,75	3196,77	78	1,21	7032,8	3196,77	7725,26
силowe:									277,87				316,59	164,44	
освітлювальне:									6113,62	3196,77			7349,39	3361,21	8081,54
Всього:										-3113				-3113	
Потужність КП 0,4 кВ:													98,76	516,53	
Втрати в трансформаторах:													7448,15	3877,74	8397,13
Всього по об'єкту:													7448,15	3877,74	8397,13
Всього по об'єкту 10 кВ:														-3050	
КП 10 кВ:															
Всього 10 кВ з КП:													7448,15	827,74	7494
tgφ = 0,111															



Таблиця 1.5. Результати розрахунків доб. графіків

№	Зим. дні						Літн. дні					
	Роб. дні			Вих. дні			Роб. дні			Вих. дні		
	$P_{др}$ кВт	$Q_{др}$ квар	$S_{др}$ кВА	$P_{др}$ кВт	$Q_{др}$ квар	$S_{др}$ кВА	$P_{др}$ кВт	$Q_{др}$ квар	$S_{др}$ кВА	$P_{др}$ кВт	$Q_{др}$ квар	$S_{др}$ кВА
1	5437	778	5492	2309	406	2344	4622	661	4669	1963	345	1993
2	4692	613	4732	2309	406	2344	3988	521	4022	1963	345	1993
3	3128	521	3171	2309	406	2344	2659	443	2696	1963	345	1993
4	3277	579	3328	2309	406	2344	2786	493	2829	1963	345	1993
5	3203	472	3238	2309	406	2344	2722	401	2751	1963	345	1993
6	4171	521	4203	2309	406	2344	3545	443	3573	1963	345	1993
7	3426	505	3463	2309	406	2344	2912	429	2943	1963	345	1993
8	5810	687	5850	2309	406	2344	4938	584	4972	1963	345	1993
9	6629	753	6672	1713	331	1745	5635	640	5671	1456	281	1483
10	7299	712	7334	1713	331	1745	6204	605	6233	1456	281	1483
11	6107	786	6157	1713	331	1745	5191	668	5234	1456	281	1483
12	6107	737	6151	1713	331	1745	5191	626	5229	1456	281	1483
13	6405	786	6453	1713	331	1745	5445	668	5486	1456	281	1483
14	6480	770	6526	1713	331	1745	5508	654	5547	1456	281	1483
15	7448	828	7494	1713	331	1745	6331	704	6370	1456	281	1483
16	6256	695	6294	1713	331	1745	5318	591	5351	1456	281	1483
17	4469	629	4513	1713	331	1745	3799	535	3836	1456	281	1483
18	5139	662	5181	1713	331	1745	4368	563	4404	1456	281	1483
19	5661	662	5700	2309	406	2344	4812	563	4845	1963	345	1993
20	6256	753	6301	2309	406	2344	5318	640	5356	1963	345	1993
21	5810	737	5857	2309	406	2344	4938	626	4978	1963	345	1993
22	5363	679	5406	2309	406	2344	4558	577	4594	1963	345	1993
23	6554	770	6599	2309	406	2344	5571	654	5609	1963	345	1993
24	5288	720	5337	2309	406	2344	4495	612	4536	1963	345	1993

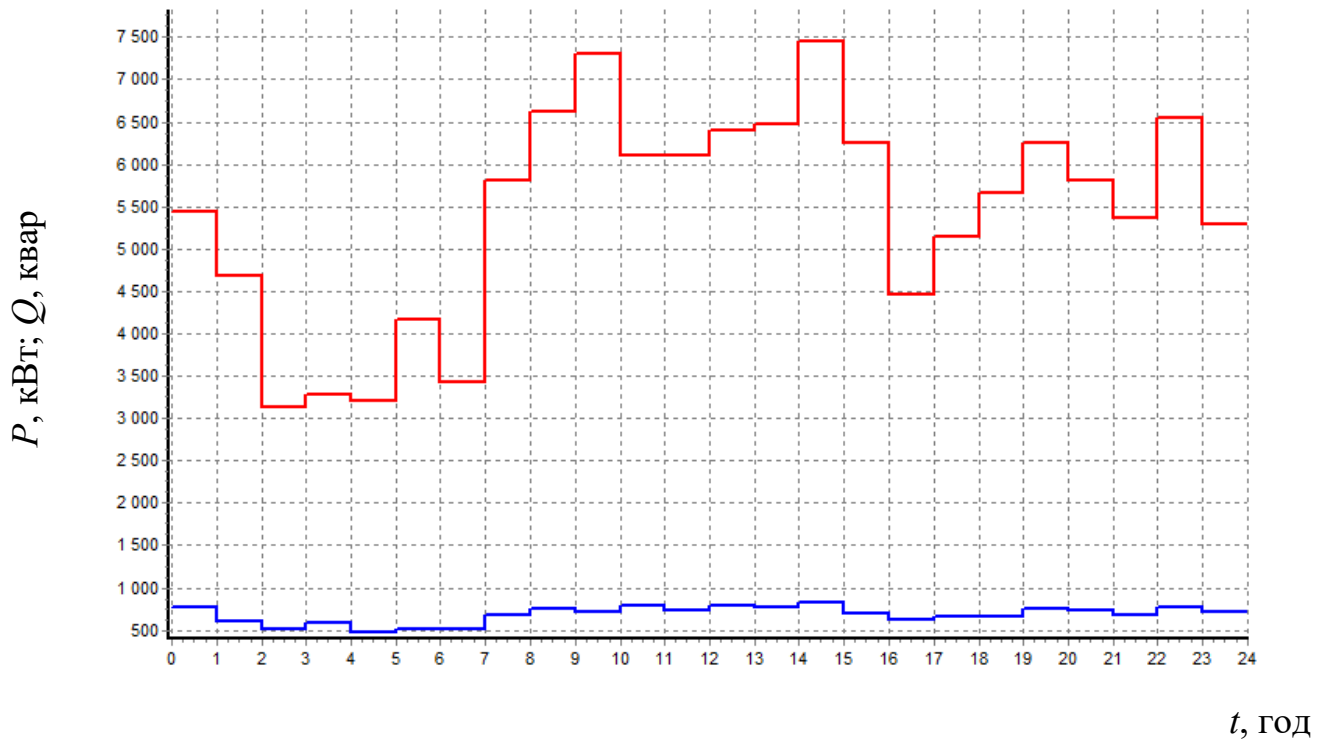


Рис. 1.1. Добові графіки (з. р.)

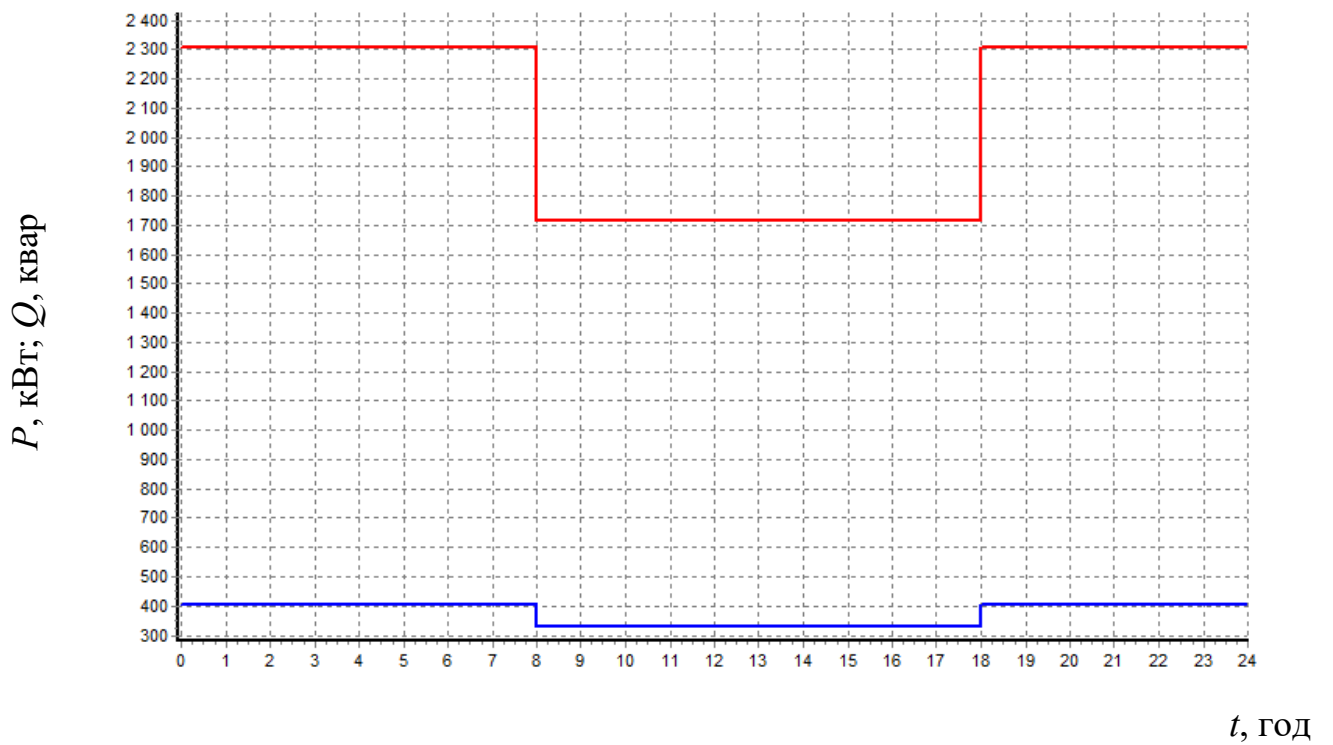


Рис. 1.2. Добові графіки активн. (з.в.)

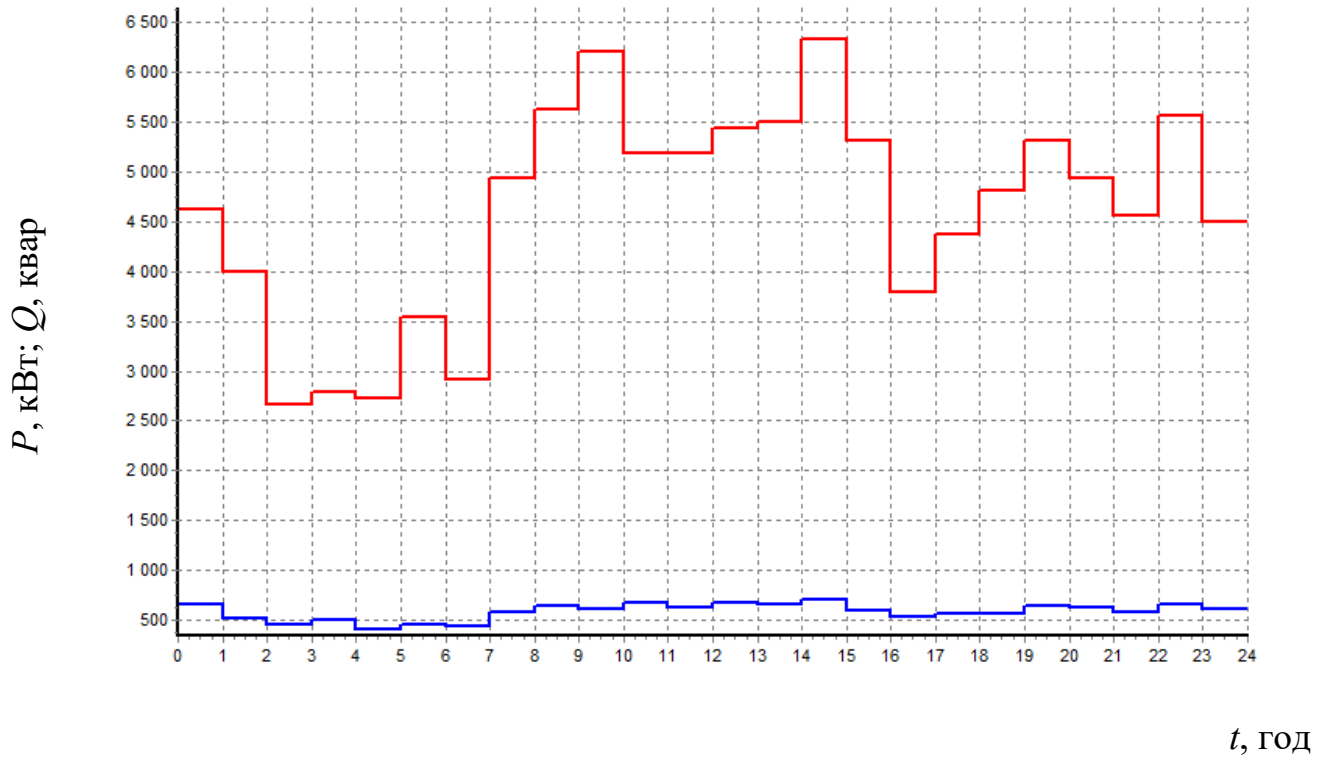



Рис. 1.3. Добові графіки (л.р.)

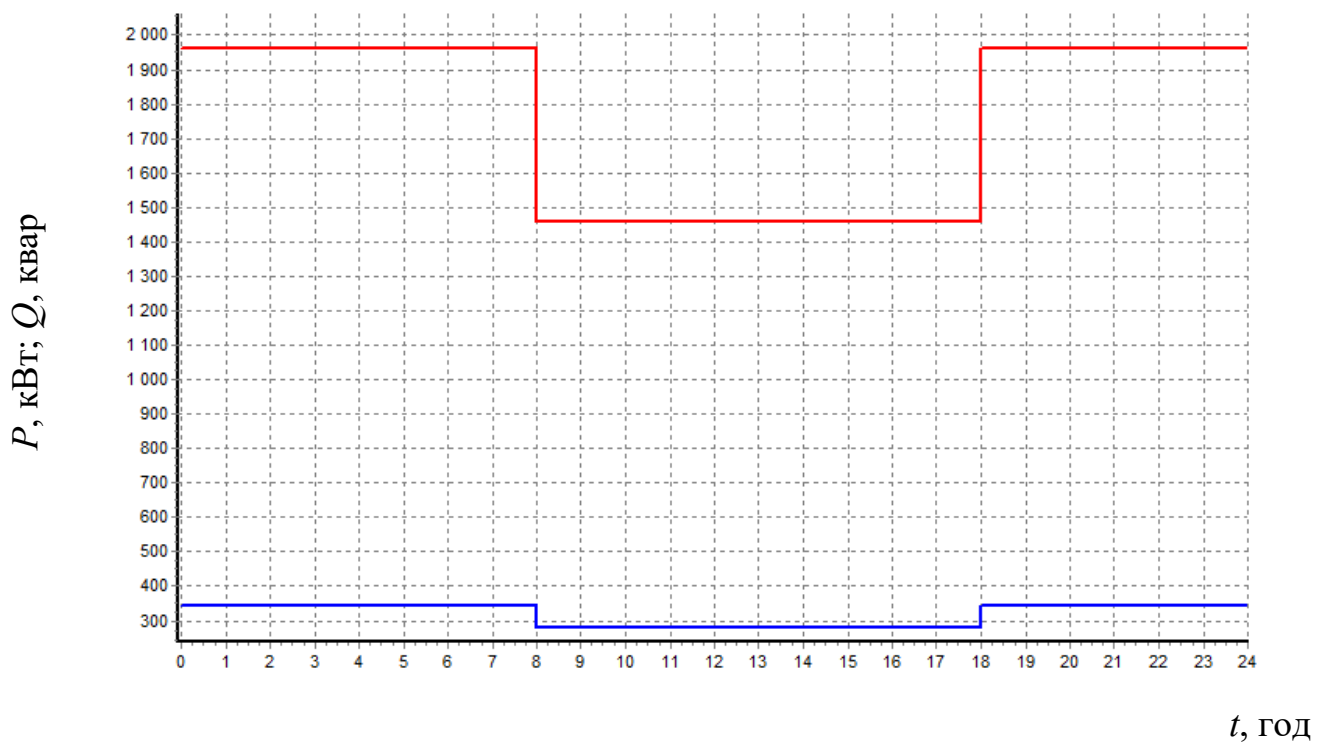


Рис. 1.4 Добові графіки (л.в.)

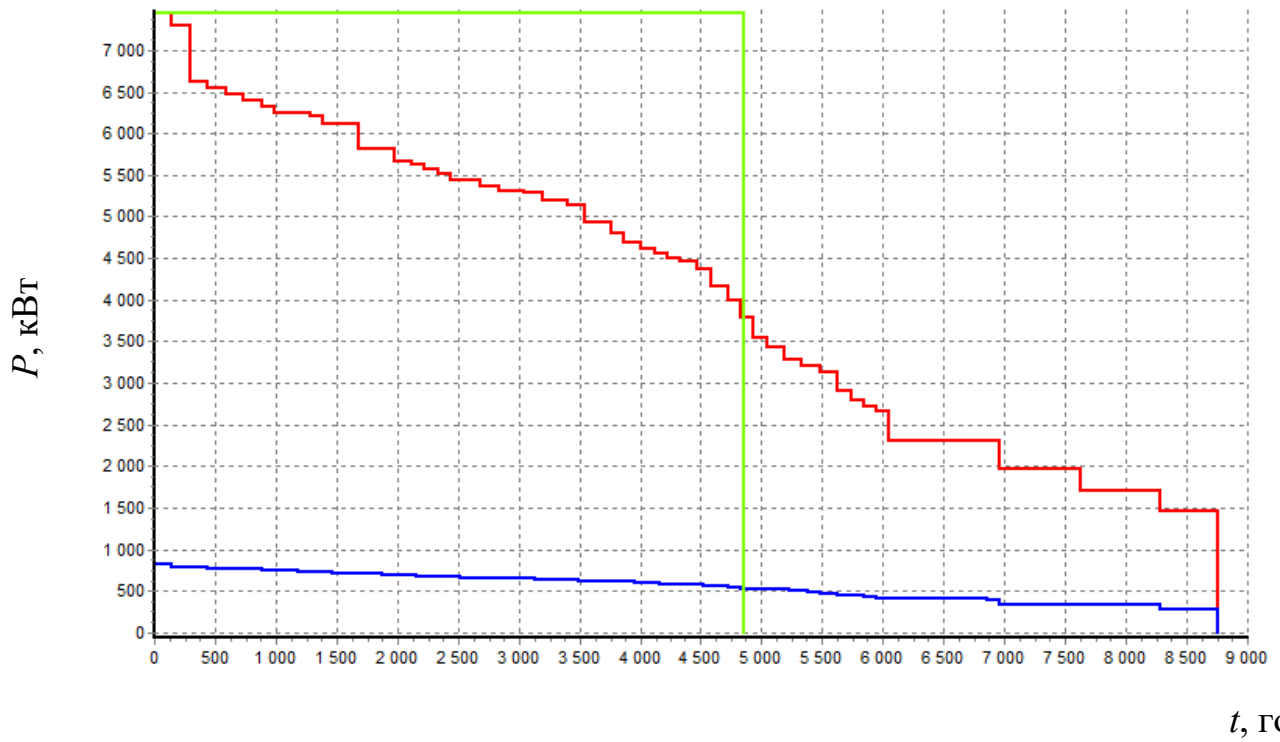



Рис. 1.5. Річний графік за тривалістю (P)

Таблиця 1.6. Результати розрах. параметрів графіків

№	Назва параметру	Знач.	Од. вим.
1	$S_{розр}$	7494	МВА
2	$W_{з.р.}$	19171005	кВт·год
3	$V_{з.р.}$	2404185	квар·год
4	$W_{з.в.}$	3214640	кВт·год
5	$V_{з.в.}$	584610	квар·год
6	$W_{л.р.}$	11639670	кВт·год
7	$V_{л.р.}$	1459605	квар·год
8	$W_{л.в.}$	2018016	кВт·год
9	$V_{л.в.}$	366720	квар·год
10	$W_{річн.}$	36043331	кВт·год
11	$V_{річн.}$	4815120	квар·год
12	$T_m$	4852,352	год
13	$\tau_m$	3251,427	год

## РОЗДІЛ 2

### КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Розрахунок картограми блоку цехів №1:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_{\text{сил}} + P_{\text{осв}}}{\pi t}} = \sqrt{\frac{627,86 + 21,61}{3,14 \cdot 0,2}} = 32,15 \text{ мм},$$

$$\alpha = \frac{P_{\text{осв}} \cdot 360}{P_{\text{сил}} + P_{\text{осв}}} = \frac{21,61 \cdot 360}{627,86 + 21,61} = 12^\circ.$$

Розрахунок для інших підрозділів приведено в таблиці 2.1.

Центр електричних навантажень:

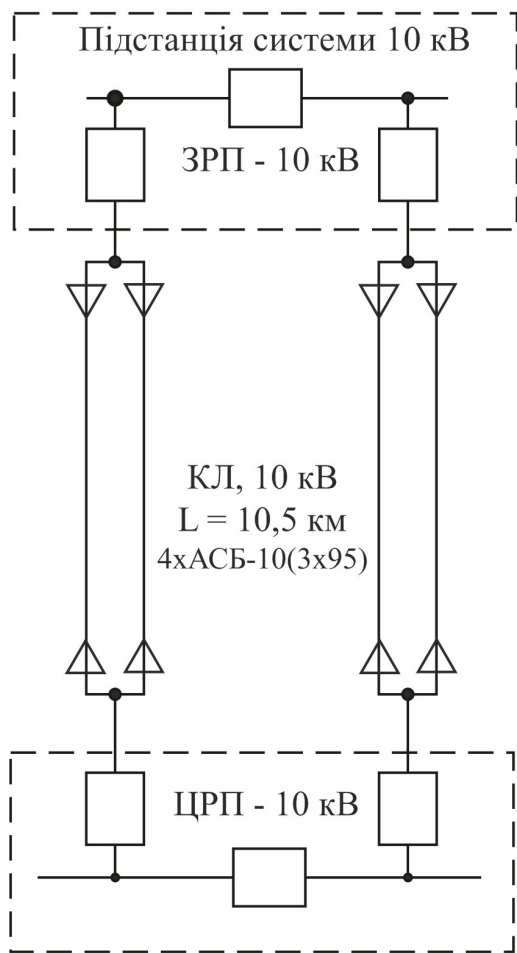
$$X = \frac{\sum_{j=1}^m X_j P_j}{\sum_{j=1}^m P_j} = \frac{1534260,95}{8467,85} = 181 \text{ м},$$

$$Y = \frac{\sum_{j=1}^m Y_j P_j}{\sum_{j=1}^m P_j} = \frac{859010,27}{8467,85} = 101 \text{ м}.$$

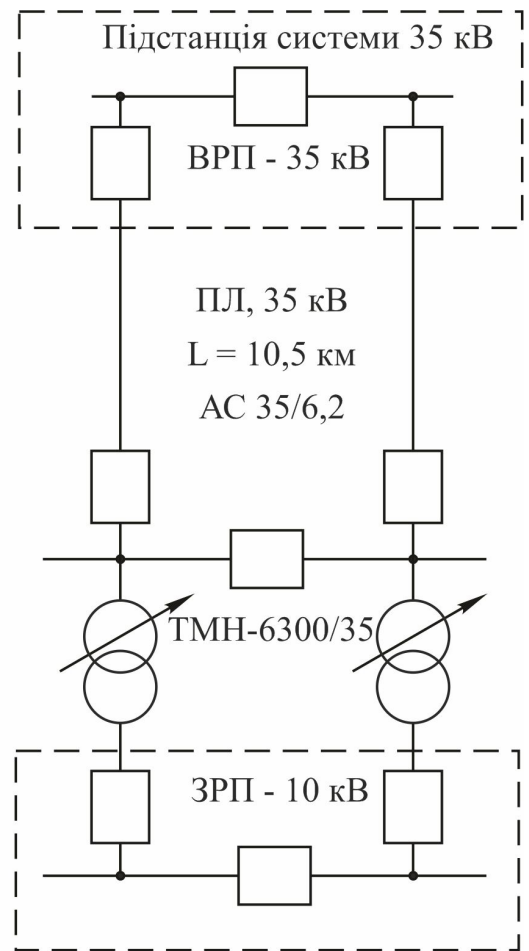
Таблиця 2.1. Результати розрахунку картограми електричних навантажень

№ п/п	$P_{P, \text{сир}}$ кВт	$P_{P, \text{осв}}$ кВт	$P_P$ , кВт	$m$	$R$ , мм	$a$	$x$ , м	$y$ , м	$P \cdot x$ , кВт · м	$P \cdot y$ , кВт · м
1	627,86	21,61	649,47	0,3	26,25	12,0	22	70	14288,3	45462,9
2	562,03	17,59	579,62	0,3	24,80	10,9	152	37	88102,2	21445,9
3	1074,42	19,16	1093,58	0,3	34,06	6,3	246	40	269020,7	43743,2
4	980,16	12,10	992,26	0,3	32,45	4,4	65	44	64496,9	43659,4
5	315,49	11,18	326,67	0,3	18,62	12,3	117	124	38220,4	40507,1
6	251,94	29,24	281,18	0,3	17,27	37,4	244	87	68607,9	24462,7
7	476,79	26,96	503,75	0,3	23,12	19,3	136	75	68510,0	37781,3
8	107,54	22,18	129,72	0,3	11,73	61,6	161	118	20884,9	15307,0
9	128,08	10,13	138,21	0,3	12,11	26,4	253	73	34967,1	10089,3
10	118,73	23,11	141,84	0,3	12,27	58,7	291	196	41275,4	27800,6
11	1087,83	21,75	1109,58	0,3	34,31	7,1	210	62	233011,8	68794,0
12	411,84	6,62	418,46	0,3	21,07	5,7	59	116	24689,1	48541,4
13	116,45	3,28	119,73	0,3	11,27	9,9	173	186	20713,3	22269,8
14	650,41	12,45	662,86	0,3	26,52	6,8	196	196	129920,6	129920,6
15	110,73	17,92	128,65	0,3	11,68	50,1	210	176	27016,5	22642,4
16	124,92	3,32	128,24	0,3	11,66	9,3	169	171	21672,6	21929,0
17	43,68	13,61	57,29	0,3	7,80	85,5	357	128	20452,5	7333,1
18	874,29	19,95	894,24	0,3	30,80	8,0	348	231	311195,5	206569,4
19	88,07	15,46	103,53	0,3	10,48	53,8	343	189	35510,8	19567,2
20	0,00	8,97	8,97	0,3	3,09	360,0	190	132	1704,3	1184,0
	<b>8151,26</b>	<b>316,59</b>	<b>8467,85</b>						<b>1534260,95</b>	<b>859010,27</b>





а)



б)

Рис. 3.1. Схеми зовн. електропостач.

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{дон}} = \frac{108,2}{192} = 0,56$$

$$\Delta P_{кл} = \Delta P_{1км} l_{\Sigma} K_3^2 = 16 \cdot 42 \cdot 0,3136 = 210,74 \text{ кВт}$$

$$\Delta W_{л} = \Delta P_{л} \tau = 210,74 \cdot 3251,05 = 685126,28 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

$$C_{втр} = \Delta W_{\Sigma} C_0 = 685126,28 \cdot 8,87 \cdot 0,001 = 6077,07 \text{ тис.грн.}$$








**РОЗДІЛ 4**  
**РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ**  
**ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

**4.1 Баланс реактивної потужності**

Розрахунки балансу РП згідно [1] наведено нижче.

$$P_p = P_n + \Delta P_m + P_\epsilon = 8468 + 86 + 0 = 8554 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_n + \Delta Q_m + Q_\epsilon = 6562 + 453 + 0 = 7015 \text{ кВАр}$$

$$Q_\epsilon = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 8554 \cdot 0,12 = 1026,48 \text{ кВАр}$$

$$Q_{КП} = Q_p - Q_\epsilon = 7015 - 1026,48 = 5988,52 \text{ кВАр}$$

Мін. к-сть трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_n}{\beta \cdot S_{ном}} = \frac{8468}{0,7 \cdot 1000} = 12,1 \approx 13 \text{ шт.}$$

**Варіант 1.**  $N = 13$  шт.

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{ном})^2 - (P_n + \Delta P_m)^2} = \sqrt{(13 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 8554^2} = 3104,69 \text{ кВАр}$$

$$Q_{KH} = (Q_n + \Delta Q_m) - Q_1 = 7015 - 3104,69 = 3910,31 \text{ кВАр}$$

$$Q_{KB} = Q_{КП} - Q_{KH} = 5988,52 - 3910,31 = 2078,21 \text{ кВАр}$$







**РОЗДІЛ 5**  
**ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ**  
**ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА**

Вибір силового трансформатора ТП-1:

$$K_{\text{зав}} = \frac{S_{\text{розр}}}{n_{\text{тр}} S_{\text{ном тр}}} = \frac{1403,85}{2 \cdot 1000} = 0,7$$

$$S_{\text{ном тр}} = 2 \cdot 1000 = 2000 \geq \frac{S_{\text{розр}}}{K_1} = \frac{1403,85}{1,08} = 1300$$

$$S_{\text{ном тр}} = 1000 \geq \frac{S_{\text{розр}}}{K_2} = \frac{1403,85}{1,4} \approx 1000$$

Вибір інших трансформаторів наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1. Результати вибору цехових трансформаторів

№	К-сть тр.	$S_{\text{розр}}$ , кВА	$K_{\text{зав}}$	$\frac{S_{\text{ном}} > S_{\text{розр}}}{K_1}$	$S_{\text{ном}} > S_{\text{розр}}/K_2$
ТП-1	2	1403,85	0,70	1300	1003
ТП-2	1	701,92	0,70	650	501
ТП-3	2	1450,71	0,73	1343	1036
ТП-4	2	1413,11	0,71	1308	1009
ТП-5	2	1413,17	0,71	1308	1009
ТП-6	2	1400,31	0,70	1297	1000
ТП-7	2	1400,31	0,70	1297	1000

## РОЗДІЛ 6

### РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

#### 6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень

Розрахункова схема та схема заміщення мережі наведені на рис. 6.1, 6.2.

Опори елементів мережі до шин напругою 35 кВ ГЗП (до точки К0):

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{к.з.}} = \frac{37^2}{55000} = 0,02 \text{ Ом} \quad , \quad R_c = \frac{X_c}{25} = \frac{0,02}{25} = 0 \text{ Ом}$$

$$R_{л} = r_0 \cdot l = 0,85 \cdot 10,5 = 8,925 \text{ Ом} \quad , \quad X_{л} = x_0 \cdot l = 0,438 \cdot 10,5 = 4,6 \text{ Ом}$$

$$X_{K0} = X_c + X_{л} = 0,02 + 4,6 = 4,62 \text{ Ом} \quad , \quad R_{K0} = R_c + R_{л} = 0 + 8,925 = 8,925 \text{ Ом}$$

$$Z_{K0} = \sqrt{R_{K0}^2 + X_{K0}^2} = \sqrt{8,925^2 + 4,62^2} = 10,05 \text{ Ом}$$

Параметри струму к.з. в т. К0:

$$I_{K0}'' = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K0}} = \frac{37}{\sqrt{3} \cdot 10,05} = 2,13 \text{ кА}$$

$$T_{a0} = \frac{X_{K0}}{\omega R_{K0}} = \frac{4,62}{314 \cdot 8,925} = 0,0016 \text{ с} \quad , \quad k_{y\partial 0} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a0}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0016}} = 1,002$$

$$i_{y\partial 0} = \sqrt{2}k_{y\partial}I_{K0}'' = \sqrt{2} \cdot 1,002 \cdot 2,13 = 3,02 \text{ кА}$$

Опори елементів мережі приведені до напруги 10 кВ ГЗП (точка К1):

$$X'_{K0} = X_{K0} \left( \frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{бн}}} \right)^2 = 4,62 \cdot \left( \frac{10,5}{37} \right)^2 = 0,372 \text{ Ом}$$

$$R'_{K0} = R_{K0} \left( \frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{бн}}} \right)^2 = 8,925 \cdot \left( \frac{10,5}{37} \right)^2 = 0,719 \text{ Ом}$$

$$Z'_{K0} = Z_{K0} \left( \frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{бн}}} \right)^2 = 10,05 \cdot \left( \frac{10,5}{37} \right)^2 = 0,809 \text{ Ом}$$

$$R_m = \frac{\Delta P_{\kappa} U_{\text{ср.ном}}^2}{S_{\text{ном}}^2} = \frac{47 \cdot 10,5^2}{6300^2} \cdot 10^3 = 0,13 \text{ Ом}$$

$$X_m = \frac{U_{\kappa, \%} U_{\text{ср.ном}}^2}{S_{\text{ном}}} = \frac{7,5 \cdot 10,5^2}{6300} \cdot 10 = 1,31 \text{ Ом}$$

$$X_{K1} = X'_{K0} + X_m = 0,372 + 1,31 = 1,682 \text{ Ом}$$

$$R_{K1} = R'_{K0} + R_m = 0,719 + 0,13 = 0,849 \text{ Ом}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{0,849^2 + 1,682^2} = 1,884 \text{ Ом}$$

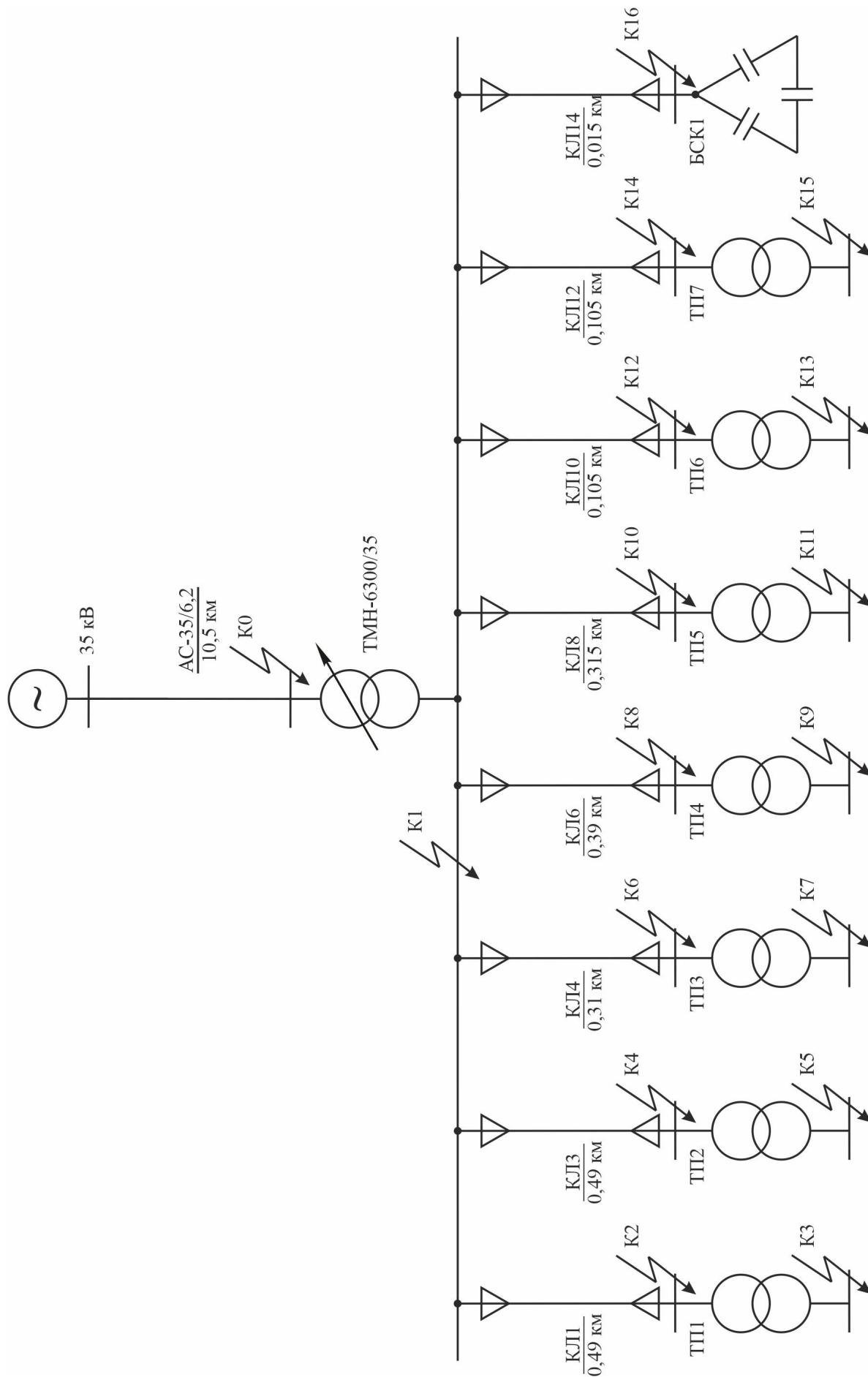


Рис. 6.1. Розрахункова схема

--	--	--	--	--

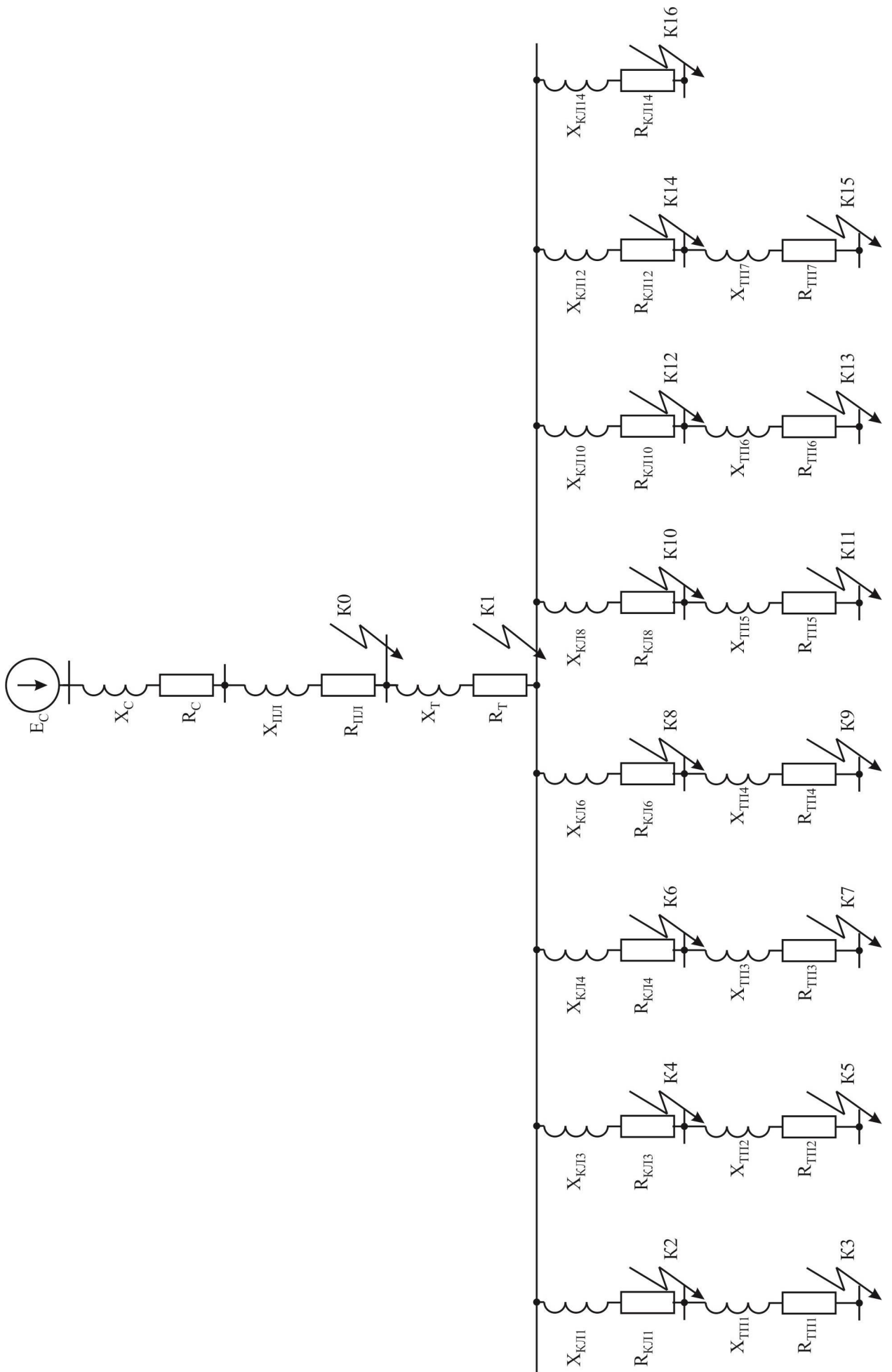


Рис. 6.2. Схема заміщення


Параметри струму к.з. в т. К1:

$$I''_{K1(c)} = \frac{U_{cp.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,884} = 3,22 \text{ кА}$$

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{1,682}{314 \cdot 0,849} = 0,0063 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0063}} = 1,204$$

$$i_{y\partial 1(c)} = \sqrt{2}k_{y\partial}I''_{K1(c)} = \sqrt{2} \cdot 1,204 \cdot 3,22 = 5,48 \text{ кА}$$

Параметри вибору КЛ1:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{cp.ном.}} = \frac{1403,85}{2 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 38,6 \text{ А}$$

$$B_k = I''_{K1}{}^2(t_{p.з.min} + T_a) = 3,22^2(0,525 + 0,0063) = 5,51 \text{ кА}^2\text{с}$$

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{5,51} \cdot 10^3 = 24,97 \text{ мм}^2$$

Обираємо кабель ААШВ-10(3 х 35).

Опір КЛ1:

$$R_{кл} = r_0 \cdot l_{кл} = 0,89 \cdot 0,49 = 0,436 \text{ Ом}$$

$$X_{кЛ} = x_0 \cdot l_{кЛ} = 0,095 \cdot 0,49 = 0,047 \text{ Ом}$$

Опори інших ліній наведено в табл. 6.1.

Параметри струму к.з. в т. К2:

$$X_{К2} = X_{К1} + X_{кЛ} = 1,682 + 0,047 = 1,729 \text{ Ом}$$

$$R_{К2} = R_{К1} + R_{кЛ} = 0,849 + 0,436 = 1,285 \text{ Ом}$$

$$Z_{К2} = \sqrt{R_{К2}^2 + X_{К2}^2} = \sqrt{1,285^2 + 1,729^2} = 2,154 \text{ Ом}$$

Таблиця 6.1. Розрахунок опорів КЛ

№ КЛ	l, км	r <sub>0</sub> , Ом/км	x <sub>0</sub> , Ом/км	R, Ом	X, Ом
1, 2	0,49	0,89	0,095	0,436	0,047
3	0,49	0,89	0,095	0,436	0,047
4, 5	0,31	0,89	0,095	0,276	0,029
6, 7	0,39	0,89	0,095	0,347	0,037
8, 9	0,315	0,89	0,095	0,28	0,03
10, 11	0,105	0,89	0,095	0,093	0,01
12, 13	0,105	0,89	0,095	0,093	0,01
14,15	0,015	0,326	0,083	0,005	0,001

$$I''_{К2} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}Z_{К2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,154} = 2,81 \text{ кА}$$

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{1,729}{314 \cdot 1,285} = 0,0043 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 2} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0043}} = 1,098$$

$$i_{y\partial 2} = \sqrt{2} k_{y\partial} I_{K2}'' = \sqrt{2} \cdot 1,098 \cdot 2,81 = 4,36 \text{ кА}$$

Опір трансформатора ТМ-1000/10:

$$R_{mp} = \frac{\Delta P_{\kappa} U_{cp,ном}^2}{S_{ном}^2} = \frac{8,6 \cdot 10,5^2}{1000^2} \cdot 10^3 = 0,948 \text{ Ом}$$

$$X_{mp} = \frac{U_{\kappa, \%} U_{cp,ном}^2}{S_{ном}} = \frac{5,5 \cdot 10,5^2}{1000} \cdot 10 = 6,064 \text{ Ом}$$

Параметри струму к.з. в т. К3:

$$X_{K3} = (X_{K2} + X_{mp}) \left( \frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (1,729 + 6,064) \left( \frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0113 \text{ Ом}$$

$$R_{K3} = (R_{K2} + R_{mp}) \left( \frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (1,285 + 0,948) \left( \frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0032 \text{ Ом}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0,0032^2 + 0,0113^2} = 0,0117 \text{ Ом}$$

$$I_{K3}'' = \frac{U_{cp,ном}}{\sqrt{3} Z_{K3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0117} = 19,74 \text{ кА}$$

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega R_{K3}} = \frac{0,0113}{314 \cdot 0,0032} = 0,0112 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 3} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0112}} = 1,409$$

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2} k_{y\partial} I_{K3}'' = \sqrt{2} \cdot 1,409 \cdot 19,74 = 39,33 \text{ кА}$$

Розрахунок струмів к.з. в інших точках наведено в табл. 6.2.

Таблиця 6.2. Розрахунок струмів к.з.

№ точки к.з.	R, Ом	X, Ом	$I_K''$ , кА	$T_a$ , с	$k_{y\partial}$	$i_{y\partial}$ , кА
0	8,9250	4,6200	2,13	0,0016	1,002	3,02
1	0,8490	1,6820	3,22	0,0063	1,204	5,48
2	1,2850	1,7290	2,81	0,0043	1,098	4,36
3	0,0032	0,0113	19,74	0,0112	1,409	39,33
4	1,2850	1,7290	2,81	0,0043	1,098	4,36
5	0,0032	0,0113	19,74	0,0112	1,409	39,33
6	1,1250	1,7110	2,96	0,0048	1,125	4,71
7	0,0030	0,0113	19,74	0,0120	1,435	40,06
8	1,1960	1,7190	2,89	0,0046	1,114	4,55
9	0,0031	0,0113	19,74	0,0116	1,422	39,70
10	1,1290	1,7120	2,96	0,0048	1,125	4,71
11	0,0030	0,0113	19,74	0,0120	1,435	40,06
12	0,9420	1,6920	3,13	0,0057	1,173	5,19
13	0,0027	0,0113	19,91	0,0133	1,471	41,42
14	0,9420	1,6920	3,13	0,0057	1,173	5,19
15	0,0027	0,0113	19,91	0,0133	1,471	41,42
16	0,8540	1,6830	3,21	0,0063	1,204	5,47



Таблиця .6.3. Вибір КЛ

№ КЛ	<i>n</i> , шт	<i>S<sub>p</sub></i> , МВА	<i>I<sub>p</sub></i> , А	<i>I<sub>р.ав.</sub></i> , А	<i>B<sub>к</sub></i> , кА <sup>2</sup> ·с	<i>F<sub>min</sub></i> , мм <sup>2</sup>	Марка кабелю	<i>I<sub>дон</sub></i> , А	<i>K<sub>n</sub></i>	$K_n I_{дон},$ А	<i>K<sub>ан</sub></i>	<i>K<sub>n</sub></i>	$K_{ан} K_n$ <i>I<sub>дон</sub></i> , А
1, 2	2	1403,85	38,6	77,2	5,51	24,97	ААШВ-10 (3 x 35)	80	0,92	73,6	1,25	1	100
3	1	701,92	38,6	-	5,51	24,97	ААШВ-10 (3 x 35)	80	1	80	-	-	-
4, 5	2	1450,71	39,88	79,76	5,51	24,97	ААШВ-10 (3 x 35)	80	0,92	73,6	1,25	1	100
6, 7	2	1413,11	38,85	77,7	5,51	24,97	ААШВ-10 (3 x 35)	80	0,92	73,6	1,25	1	100
8, 9	2	1413,17	38,85	77,7	5,51	24,97	ААШВ-10 (3 x 35)	80	0,92	73,6	1,25	1	100
10, 11	2	1400,31	38,5	77	5,51	24,97	ААШВ-10 (3 x 35)	80	0,92	73,6	1,25	1	100
12, 13	2	1400,31	38,5	77	5,51	24,97	ААШВ-10 (3 x 35)	80	0,92	73,6	1,25	1	100
14, 15	1	1800	98,97	-	5,51	24,97	ААШВ-10 (3 x 95)	155	1	155	-	-	-

### 6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги

Розрахункові параметри вибору ввідних вимикачів наведені в табл. 6.4-6.5.

Таблиця 6.4. Вибір ввідного вимикача 35 кВ

Параметр вимикача	Умова вибору	Розрахунок
Номінальна напруга, кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$35 \leq 35$
Довготривалий струм, кА	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$145,49 \leq 1600$
Відключаюча здатність: - симетричний струм: - аперіодична складова: - повний струм:	$I_{н\tau} \leq I_{відкл.ном}$ $i_{a\tau} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$ $\sqrt{2}I_{н\tau} + i_{a\tau} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл}(1 + \beta_n)$	$2,13 \leq 20$ $0,09 \leq 11,31$ $1,41 \cdot 2,13 + 0,09 < < 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $3,1 \leq 39,6$
Динамічна стійкість: - симетричний струм: - ударний струм:	$I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	$2,13 \leq 52$ $4,84 \leq 132,37$
Термічна стійкість	$B_k \leq I_{TH}^2 t_{TH}$	$4,95 \leq 1200$

$$\tau = t_{пз. min} + t_{с.с} = 0,02 + 0,05 = 0,07 \text{ с}$$

$$i_{a\tau} = \sqrt{2}I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 2,13 \cdot e^{\frac{-0,07}{0,02}} = 0,09 \text{ кА}$$

$$B_k = I''^2 (t_{с.с.} + t_{пз. max} + T_a) = 2,13^2 (0,05 + 1,02 + 0,02) = 4,95 \text{ кА}^2 \text{ с}$$

Обираємо ВР35НС-35-20/1600У1.

Таблиця 6.5. Вибір ввідного вимикача 10 кВ

Параметр вимикача	Умова вибору	Розрахунок
Номінальна напруга, кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10,5 \leq 11$
Довготривалий струм, кА	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$484,97 \leq 630$
Відключаюча здатність: - симетричний струм: - аперіодична складова: - повний струм:	$I_{нт} \leq I_{відкл.ном}$ $i_{a\tau} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$ $\sqrt{2}I_{нт} + i_{a\tau} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл}(1 + \beta_n)$	$3,22 \leq 20$ $0 \leq 11,31$ $1,41 \cdot 3,22 + 0 < < 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $4,55 \leq 39,6$
Динамічна стійкість: - симетричний струм: - ударний струм:	$I'' \leq I_{дин.см}$ $i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.см}$	$3,22 \leq 52$ $6,23 \leq 132,37$
Термічна стійкість	$B_k \leq I_{TH}^2 t_{TH}$	$16,09 \leq 1200$

$$\tau = t_{пз. min} + t_{с.с} = 0,5 + 0,042 = 0,542 \text{ с}$$

$$i_{a\tau} = \sqrt{2}I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 3,22 \cdot e^{\frac{-0,542}{0,01}} = 0 \text{ кА}$$

$$B_k = I''^2 (t_{с.с.} + t_{пз. max} + T_a) = 3,22^2 (0,042 + 1,5 + 0,01) = 16,09 \text{ кА}^2 \text{ с}$$

Обираємо ВР1-10-20/630.

Інші вимикачі обираються аналогічно.

Для обмеження перенапруг обираємо ОПН-10/420/12-УХЛ1.

## 6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб

Схема приєднання ТВП до мережі наведена на рис. 6.3.

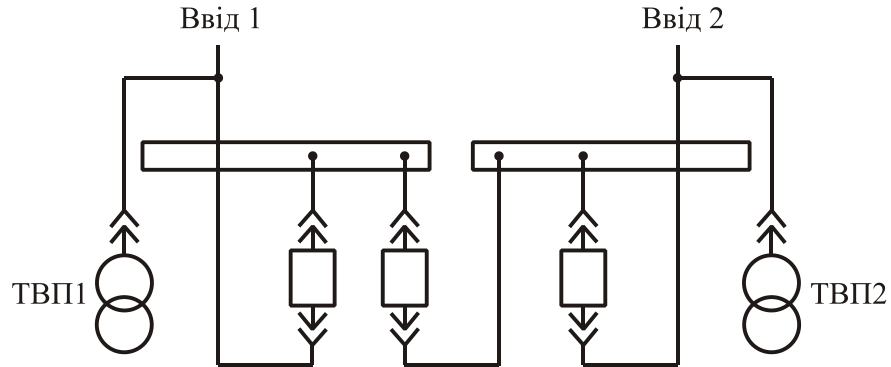


Рис. 6.3. Схема приєднання ТВП до мережі

Таблиця 6.5. Розрахунок електр. навант. ТВП

№ п/п	Споживачі	$P_{ном}$ , кВт	$n$ , шт.	$P_{сум}$ , кВт	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	$P_{уст}$ , кВт	$Q_{ус}$ , кВАр
1.	Електродвигуни обдуву трансформаторів номінальною потужністю 6,3 МВА	7	4	28	0,8	0,75	28	21
2.	Пристрої підігріву вимикачів номінальною напругою 35 кВ	1,15	3	3,45	0,97	0,25	3,45	1
3.	Пристрої підігріву комірок	0,6	24	14,4	0,97	0,25	14,4	4
4.	Опалення і освітлення приміщення оперативного	6	3	18	0,97	0,25	18	5
5.	Зовнішнє освітлення	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
6.	Споживання оперативними колами	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
<i>Всього</i>							<i>100</i>	<i>41</i>











Таблиця. 7.1 – Технічні характеристик енергоакумуючих технологій

Тип накопичення	Потужність, МВт	Об'ємна густина потужності, кВт/м <sup>3</sup>	Об'ємна густина енергії, кВт*год/м <sup>3</sup>	Масова густина енергії, кВт*год/м <sup>3</sup>	ККД, в.о.
ГАЕС	10-5000	-	-	-	0,75-0,85
	-	0,1-0,2	0,2-2	0,2-2	0,70-0,80
		0,5-1,5	0,5-1,5	0,5-1,5	0,70-0,85
		0,01-0,10	0,5-1,3	0,3-1,3	0,65-0,90
	10-1000	-	-	0,1-0,4	0,65-0,80
Стиснене повітря	5-1000	-	-	-	0,70-0,89
	-	0,2-0,6	-	-	0,41-0,75
		0,5-2	3-6	30-60	-
		0,04-10	0,4-20	3-60	0,60-0,90
	50-300	-	-	0,0032-0,0055	0,70-0,73
Li-ion	0-100	-	-	-	0,85-0,90
	-	1 300-10 <sup>4</sup>	200-400	60-200	0,85-0,98
		1 500-10 <sup>4</sup>	200-500	75-200	0,90-0,97
		60-800	90-500	30-300	0,70-0,100
	0,1-50			0,08-0,15	0,78-0,88
Pb	0-40	-	-	-	0,70-90
	-	90-700	50-80	30-45	0,75-0,90
		10-400	50-80	30-50	0,70-0,80
		10-400	25-90	10-50	0,60-0,90
0,005-10			0,03-0,05	0,75-0,80	
Ni-Cd	0-40				0,60-0,65
	-	75-700	15-110	15-45	0,60-0,80
		80-600	60-150	50-75	0,60-0,70
		40-140	15-150	10-80	0,60-0,90
45			0,03-0,05	0,72	
Водневі паливні комірки	0-58,8	-	-	-	0,25-0,58
	-	>500	500-3000	800-10000	0,20-0,50
				100-370	150-250
Конденсатори	0,1-50	-	-	-	0,35-0,42
	0-0,05	-	-	-	0,60-0,65
Супер конденсатори	-	>10 <sup>5</sup>	2-10	0,05-5	0,60-0,70
	0-0,03	-	-	-	0,90-0,95
	-	(40-120)·10 <sup>3</sup>	10-20	1-15	0,85-0,98
>10 <sup>5</sup>		10-30	2,5-15	0,90-0,97	
Супер провідні магнітні матеріали	0,1-10				0,95-0,98
	-	2 600	6	-	0,75-0,80
		-	0,2-2,5	0,5-5	0,95-0,97
		300-4 000	0,2-14	0,3-75	0,80-0,99
	0,05-0,25		-	0,002-0,069	0,80-0,95











енергії. Згенерована енергія направляється для забезпечення потреб електричних споживачів та підтримання їх нормального функціонування.

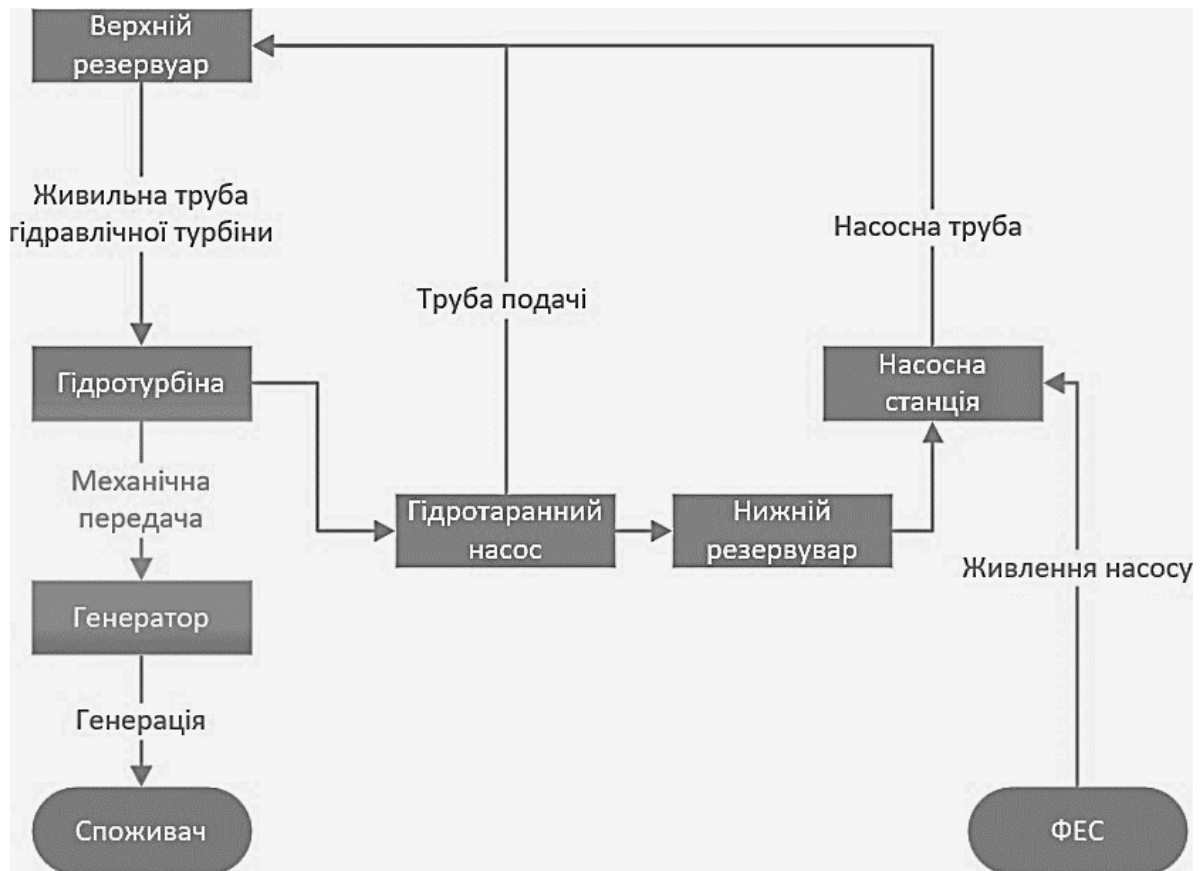


Рис. 7.1 Принципова структура комплексу накопичення електроенергії з використанням гідроакumuлюючого обладнання незалежного функціонування

Після проходження крізь турбінний агрегат, водний потік спрямовується до гідравлічного насоса. Цей механізм трансформує кінетичну енергію рідини в механічну роботу, приводячи в обертання робочі лопатки та ротор гідронасосної установки. Обертальний момент через приводний вал передається на перекачувальний агрегат, який транспортує певну кількість води по напірному трубопроводу назад у верхній накопичувальний резервуар. Залишкова частина рідини відводиться в нижній басейн для наступного застосування в циклі.

Паралельно функціонує фотовольтаїчна електростанція – система сонячних панелей з перетворювачами струму, які забезпечують живлення насосної установки

















рідини у нагнітаючому потоці) до вхідної енергії (зменшення потенціальної енергії стікаючого потоку).

Реалізація моделі гідронасоса приведено на рис. 7.7.

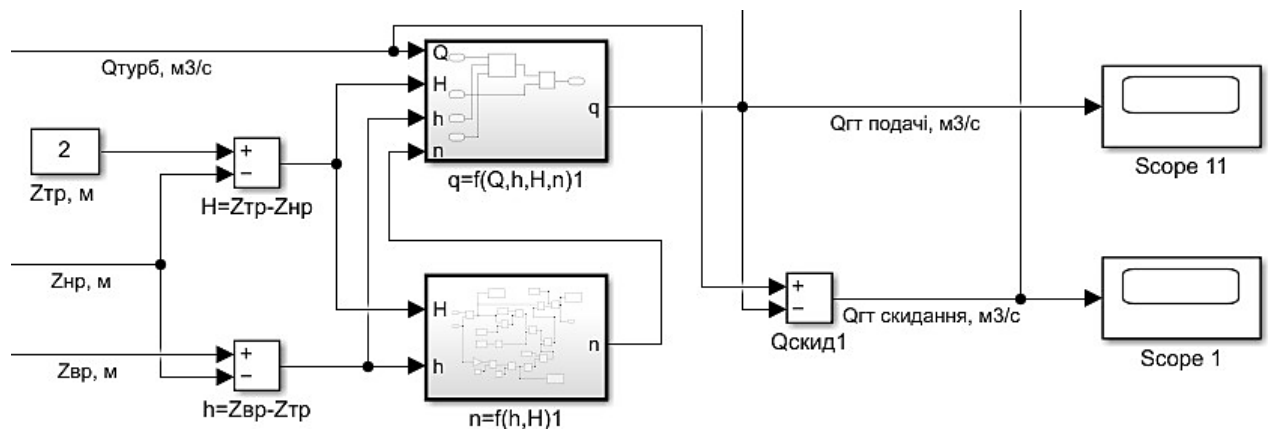


Рис. 7.7 – Блок-схема для моделювання гідронасоса

Створена математична модель забезпечує можливість встановлення водного балансу в установці на основі вхідних параметрів про рівні рідини у верхньому й нижньому резервуарах та загальну витрату з турбінного агрегата. Це уможлиблює дослідження експлуатаційних режимів функціонування гідравлічного насоса.

**Блок моделювання насосної станції.** Загальна конфігурація блоку для симуляції функціонування насосної станції представлена на рис. 7.8. На вхідний канал цього поступає поштане значення відносної витрати  $Q_{в.о.}$ , тоді як вихідним сигналом є відповідний показник ККД у відсоткових одиницях.

Подальшим етапом з врахуванням визначеного коефіцієнта корисної дії на базі графічної залежності, що реалізована у блоці Lookup Table, здійснюється обчислення фактичної витрати рідини насосом  $Q_{нас.}$  Саме цей показник витрати передається на вихідний канал блоку моделі електричного насоса.

Подібний підхід забезпечує точніше відтворення реального функціонування насосного обладнання для різноманітних експлуатаційних режимів.

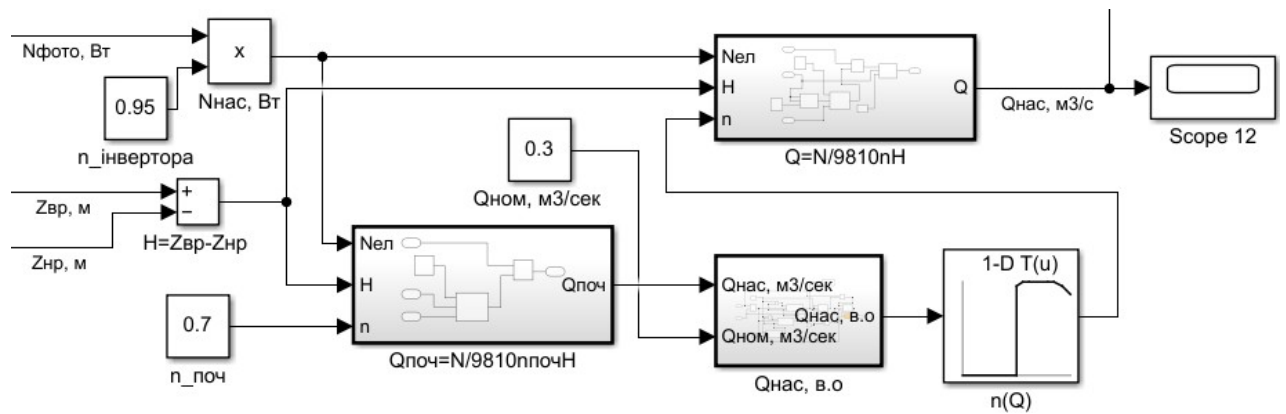


Рис. 7.8 – Структурна схема моделі насосної станції

На вхідні канали моделі електричного насоса відповідно до рис. 7.8 надходять параметри про генеровану потужність фотоелектричної установки та рівень рідини у верхній накопичувальній ємності.

На підставі цих даних ітераційним способом визначається витрата рідини через насосний агрегат  $Q_{нас}$ . Протягом кожної ітерації ця величина коригується з врахуванням ККД насоса для актуального режиму функціонування.

Показник ККД відбирається з графічної залежності  $\eta = f(Q)$  залежно від поточного значення  $Q_{нас}$ . Розрахована витрата рідини через насосне обладнання передається для дослідження динамічних процесів.

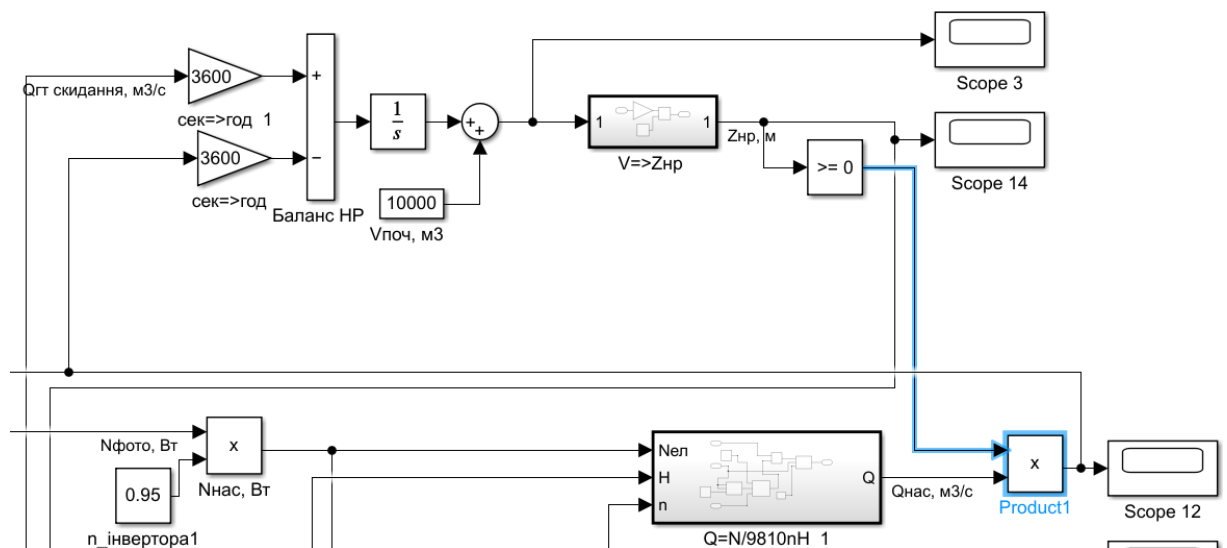
У такий спосіб реалізується методологія, аналогічна до обчислення витрати через гідротурбінний агрегат, що уможливорює врахування реальних експлуатаційних характеристик насосного устаткування.

Критично важливим аспектом є потреба у регулюванні рівнів рідини у верхній та нижній накопичувальних ємностях для стабільного й безпечного функціонування установки.

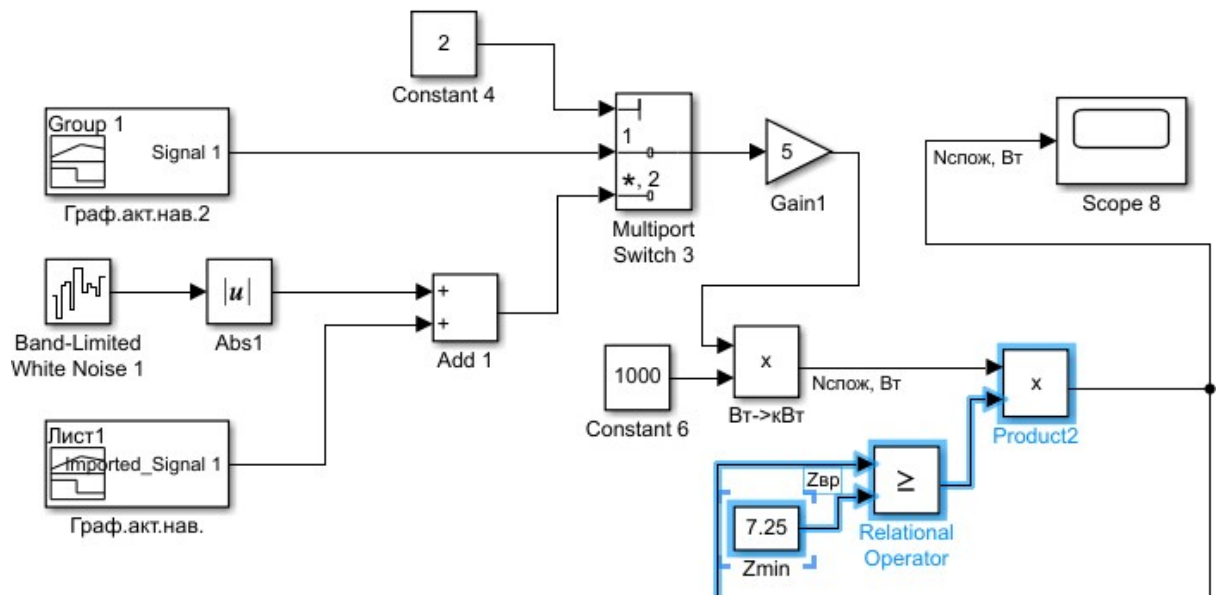
Оскільки запаси води як у верхній, так і в нижній ємностях фізично лімітовані об'ємними характеристиками цих резервуарів, а додаткове зовнішнє живлення відсутнє, необхідно моніторити рівні водної поверхні та зважати на обмеження стосовно мінімальних (максимальних) робочих рівнів води у басейнах.

Подібні обмеження попереджають виснаження накопичувальних ємностей та забезпечують стабільне й безаварійне функціонування гідроенергетичної установки за замкнутим циклом.

Практичне втілення в математичній моделі обмежень при досягненні мінімального рівня рідини у нижній накопичувальній ємності для насосного агрегата представлено на рис. 7.9. а, та у верхній ємності – на рис. 7.9. б.



а)



б)

а – нижній басейн, б – верхній басейн

Рис. 7.9 – Обмежувальні параметри функціонування насоса за мінімальним рівнем









