

ТРАНСФОРМАТОР
ЭТЦНР-10500/35-У3
РАСЧЕТ
БТЛИ.670124.157 РР

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Главный конструктор

_____ А.В. Аникеев

_____ 2022 г.

Перв. примен.				
Справ. №				
РГ				

№	Оглавление	Лист
1	Основные технические параметры трансформатора	3
2	Электрические схемы соединения обмоток трансформатора	5
3	Обмоточные данные	7
3.1	Регулировочная обмотка	7
3.2	Обмотка ВН	8
3.3	Обмотка НН	9
3.4	Расчет массы обмоток	11
4	Расчет потерь короткого замыкания	11
5	Расчет напряжения короткого замыкания	12
6	Расчет сопротивления обмоток	13
7	Расчет магнитной системы	14
8	Расчет потерь	15
9	Тепловой расчет обмотки	16
10	Тепловой расчет трансформатора	17

1 Основные технические параметры трансформатора

Таблица 1.1 - Основные конструктивные данные трансформатора

Сталь: марка, толщина	Магнито- провод	Диа- метр, мм	Активное сечение, см ²	Расстояние (МО) между осями, мм	Дли- на, мм	Масса, кг 2621	Индукция, Тл
T111-30S; 0,3 мм; K _{з.с.} = 0,955	Стержень	460	1451,62	-	1190	4153	1,633
	Ярмо	-	1456,59	890	-	2219	1,628
Магнитопровод = 8993 кг							

10500 – 7000 кВА	50 Гц	Схема и группа соединения	Д/Д - 0
35000	Вольт	157,9 – 105,5	
173,2 – 115,5	Ампер	38390 – 38390	
665 - 995	Витков	3	

Обмотки	Ток, А	Сечение витков, мм ²	Провод	Плотность тока, А/мм ²
ВН	100	25,77	ПБ	3,88
РО	100	29,64	ПБ	3,37
НН: «П-П» «Р-Р»	667,6 867,9	46,64x4 58,14x4	ПБ	3,58 3,73

Таблица 1.2 – Радиальное строение

Ø460		732	
20	10 п.з.	28	14 к.
480		760	
12	6 т.б.	12	6 т.б.
492		772	
28	14 к.	20	10 к.
520		792	
106	53 ВН	68	34 НН
626		860	
24	12 к.		
650			
12	6 т.б.		
662			
24	12 к.		
686			
46	23 РО		
732			

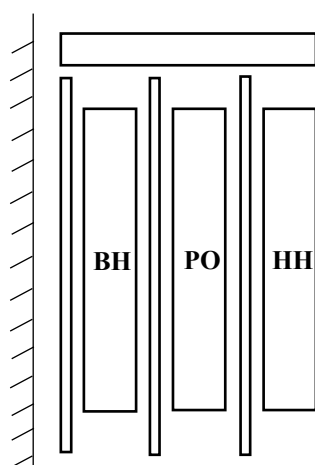


Рисунок 1.1 – Эскиз радиального строения

Таблица 1.3 – Выбор вводов и ПУ

На один трансформатор	Сторона ВН			Сторона НН		
	штук	ток, А	напряжение, В	штук	ток, А	напряжение, В
вводы	6	100	35000	8x3	5541	157,9
Переключающее устройство	CV2 III 250D/72.5-12111W с моторным приводом SHM-DL фирмы «Huaming» (Китай)					

Испытательные напряжения обмоток: ВН – 85 кВ; НН – 5 кВ.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Листы	№ докум.	Подпись	Дата	БТЛИ. 670124.157 РР	Лист
						3

Таблица 1.4 - Основные данные трансформатора

Переключающее устройство			Мощность, кВА	Сторона ВН						Сторона НН		
Положение указателя	Предизбиратель	Избиратель		Напряжение, В	Напряжение витка, В	Ток, А	Витки суммарные	Витки РО	Напряжения ступени, В	Напряжение, В	Ток, А	Витки
1	К +	1	10500	35000	52,63	173,2	665	165	1737	157,9	38390	3
2		2	10000	35000	50,14	165,0	698	132	1655	150,4	38390	3
3		3	9550	35000	47,88	157,5	731	99	1580	143,6	38390	3
4		4	9140	35000	45,81	150,8	764	66	1512	137,4	38390	3
5		5	8760	35000	43,91	144,8	797	33	1449	131,7	38390	3
6		K	8410	35000	42,17	138,7	830	0	0	126,5	38390	3
7	К -	2	8090	35000	40,56	133,5	863	33	1338	121,7	38390	3
8		3	7790	35000	39,06	128,5	896	66	1289	117,2	38390	3
9		4	7510	35000	37,67	123,9	929	99	1243	113,0	38390	3
10		5	7250	35000	36,38	119,6	962	132	1201	109,1	38390	3
11		6	7020	35000	35,18	115,8	995	165	1161	105,5	38390	3

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Листы	№ докум.	Подпись	Дата

БТЛИ. 670124.157 РР				
---------------------	--	--	--	--

Лист
4

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Листы	№ докум.	Подпись	Дата

2 Электрические схемы соединения обмоток трансформатора

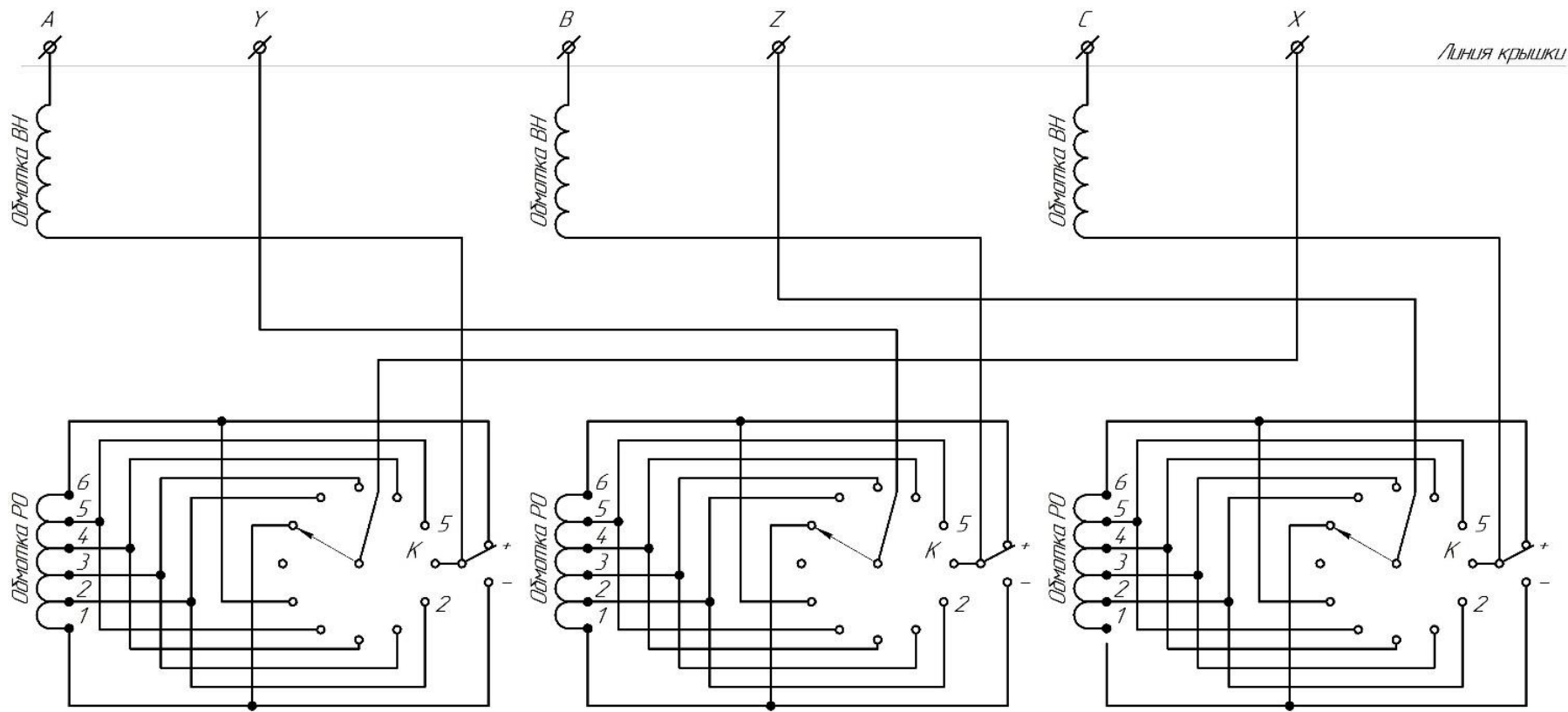


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема регулирования напряжения

БТЛП.670124.157 РР

Инв. № подл.	Подп. и дата				
	Инв. № дубл.				
	Взам. инв. №				
Инв. № подл.	Подп. и дата				
	Инв. № дубл.				
	Взам. инв. №				
Изм.	Листы	№ докум.	Подпись	Дата	

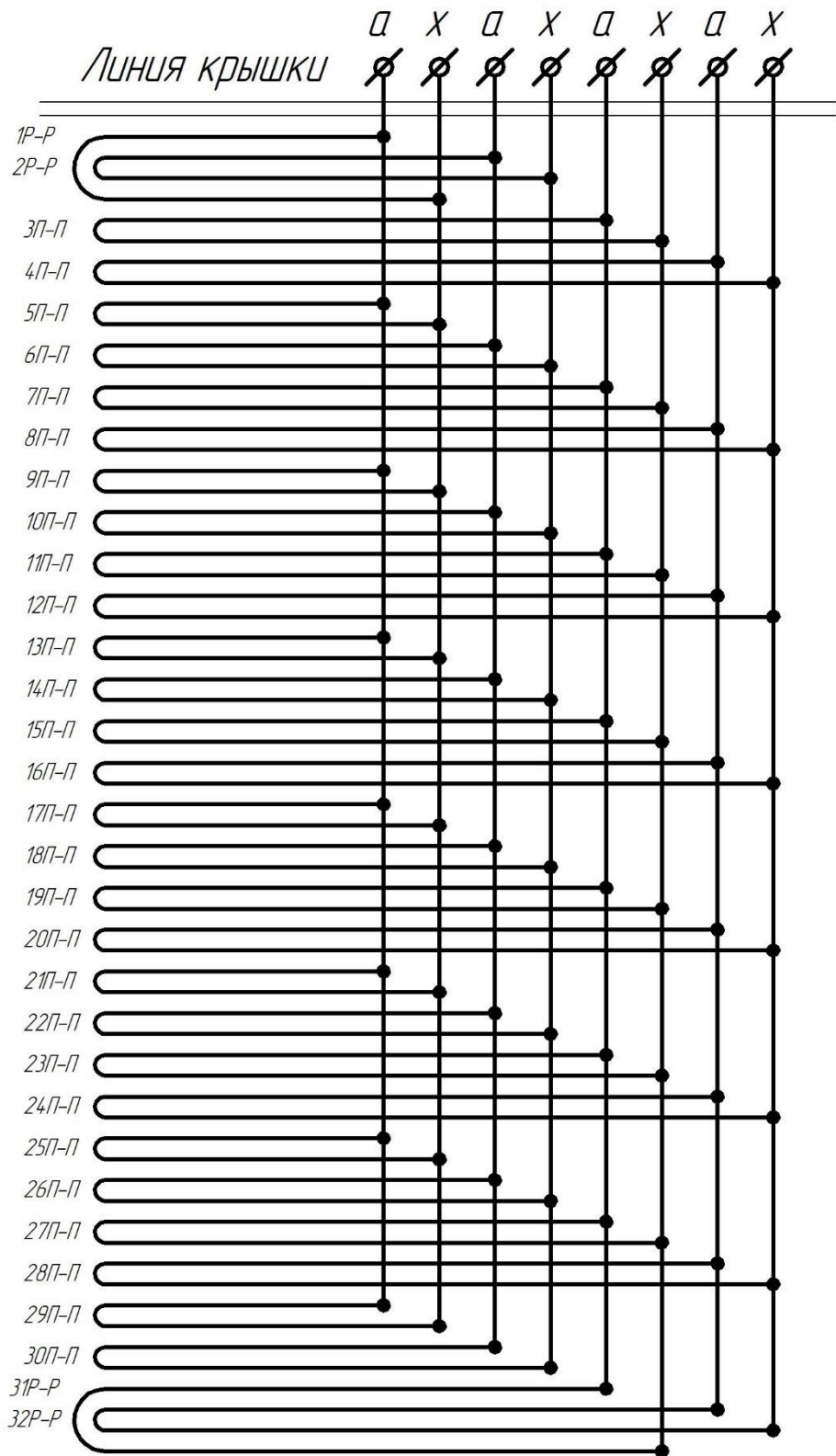


Рисунок 2.2 – Схема соединения обмотки НН фаза А (фазы В и С - аналогично).
Вид со стороны НН

3 Обмоточные данные

3.1 Обмотка ВН

Таблица 3.1

35000 (ВН+РО=43683)			830			52,63	76		3		10500		
Вольт			Витков			Вольт/ виток	Катушек		Стержней		Мощность, кВт·А		
Обозначение катушек	Штук	Каждая катушка			Параллельных проводов	Марка и размеры обмоточного провода	Масса провода с концами на тр-р, кг		Размер катушки, мм		Диаметр катушки, мм		Изоляция между слоями, мм
		слоев	витков в слое	всего витков			без изоляции	с изоляцией	осевой	радиальный	внутренний	наружный	
						ПБ							
Г	2	10 5/16	1	10 5/16	1								
						3,75x7,1/0,96	1029	1083	8,06	53	520	626	0,96
Д	74	10 15/16	1	10 15/16	1								
						плашмя					D _{ср} = 573		

$L_{\text{сред/парал.}} = \pi \times 573 \times 830 \times 10^{-3} + 2 \times 0,5(\text{к.}) = 1494 + 1,0 (\text{к.}) = 1495 \text{ м}$

Число прокладок по окружности:

16 по 40 мм

Усилие начальной запрессовки ВН:

$P_0 = 16 \times 40 \times 5,3 \times 4,0 \times 10^{-3} = 13,6 \text{ т}$

Радиальный размер обмотки, мм:

$(3,75 + 0,96) \times 1 \times 11 \times 1,03 = 53$

Осевой размер обмотки, мм:

медь $7,1 \times 76 = 539,6$

бумага $0,96 \times 76 = 73$

$\rightarrow (-15\%) \quad 62$

картон $8 \times 6 = 48$

$4,8 \times 69 = 331,2$

$379,2 \rightarrow (-6,8\%) \quad 353,4$

высота:

991,8

955

(до прессовки)

(после прессовки)

На один стержень непрерывная обмотка, состоящая из 2 катушек «Г» и 74 катушек «Д», намотанных одним параллельным проводом на клиньях на бумажно-бакелитовой трубке ТБ Ø 480 / 492 x 1125.
Направление намотки – левое.
Расположение каналов симметричное: с каждого края по 3 канала по 8 мм, остальные – по 4,8 мм.

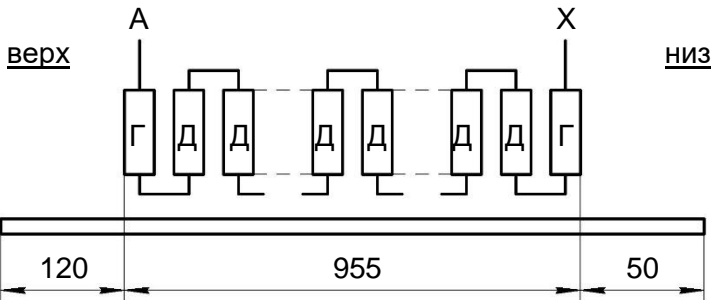


Рисунок 3.1 - Схема строения обмотки ВН

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Листы	№ докум.	Подпись	Дата
------	-------	----------	---------	------

БТЛИ. 670124.157 РР

Лист

7

3.2 Регулировочная обмотка (РО)

Таблица 3.2

8684		5 × 33 = 165				52,63	1		3		2607		
Вольт		Витков				Вольт/ виток	Катушек		Стержней		Мощность, кВт·А		
Обозначение катушек	Штук на фазу	Каждая катушка			Параллельных	Марка и размеры обмоточного провода	Масса провода с концами на тр-р, кг		Размер катушки, мм		Диаметр катушки, мм		Изоляция между слоями, мм
		ходов	витков в ходу	всего витков			без изоляции	с изоляцией	осевой	радиальный	внутренний	наружный	
						ПБ							
К	1	1	33	1х33х5	5	2,0х15,0/2,48	295	351	955	23	686	732	2,48
						плашмя							
											D _{ср} = 709		

$L_{\text{сред/парал.}} = \pi \times 709 \times 33 \times 10^{-3} + 2 \times 0,5(\kappa.) = 73,5 + 1,0 (\kappa.) = 74,5 \text{ м}$

Число прокладок по окружности:

16 по 40 мм

Усилие начальной запрессовки РО:

$P_0 = 16 \times 40 \times 2,3 \times 4,0 \times 10^{-3} = 5,89 \text{ т}$

Радиальный размер обмотки, мм:

$(2,0 + 2,48) \times 5 \times 1,03 = 23$

Осевой размер обмотки, мм:

медь $15,0 \times 1 \times 34 = 510$

бумага $2,48 \times 1 \times 34 = 84,3 \rightarrow (-15\%) 71,7$

картон $12 \times 33 = 396 \rightarrow (-5,73\%) 373,3$

не доход - 1,8

высота: 988,5 955

(до прессовки) (после прессовки)

На один стержень изготовить винтовую обмотку в 1 заход, состоящую из катушки «К», намотанной на клиньях на бумажно-бакелитовой трубке ТБ Ø 650 / 662 x 1055.

Направление намотки – левое.

Расположение каналов: между витками по 12 мм.

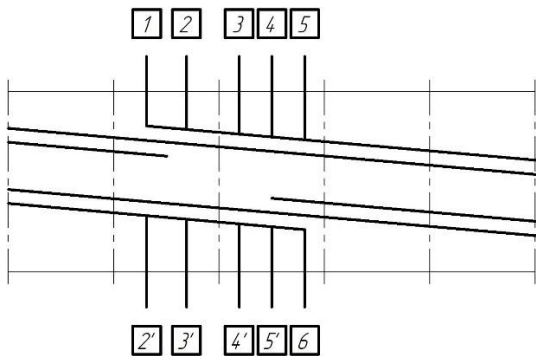


Рисунок 3.2 – Схема строения обмотки РО

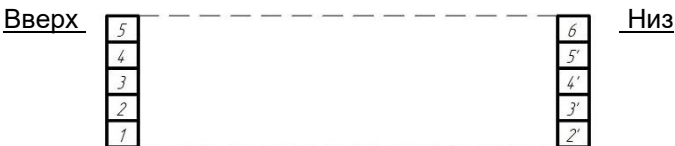


Рисунок 3.3 – Схема строения обмотки РО

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Сход винта, мм:

$(15,0 + 2,48) \times 1 + 12 = 29,5$

Не доход винта, мм:

$1 / 16 \times 29,5 = 1,8$

Изм. Листы № докум. Подпись Дата

БТЛИ. 670124.157 РР

Лист

8

3.3 Обмотка НН

Таблица 3.3

157,9		3		52,63		64		3		10500			
Вольт		Витков		Вольт/ виток		Катушек		Стержней		Мощность, кВт·А			
Обозначение катушек	Штук	Каждая катушка			Параллельных проводов	Марка и размеры обмоточного провода	Масса провода с концами на тр-р, кг		Размер катушки, мм		Диаметр катушки, мм		Изоляция между слоями, мм
		слоев	витков в слое	всего витков			без изоляции	с изоляцией	осевой	радиальный	внутренний	наружный	
						ПБ							
П	56	1,5	1	1,5	4	5,0х9,5/0,55	1227	1254	10,05				
									34	792	860	0,55	
Р	8	1,5	1	1,5	4	5,0х11,8/0,55	219	225	12,35				
										D _{ср} = 826			

$L_{\text{сред/парал.}} = \pi \times 826 \times 3 \times 10^{-3} + 2 \times 0,5(\kappa.) = 7,8 + 1,0 (\kappa.) = 8,8 \text{ м}$

Число прокладок по окружности:

16 по 40 мм

Усилие начальной запрессовки НН:

$P_0 = 16 \times 40 \times 3,4 \times 4,0 \times 10^{-3} = 8,7 \text{ т}$

Радиальный размер обмотки, мм:

$(5,0 + 0,55) \times 4 \times 1,5 \times 1,03 = 34$

Осевой размер обмотки, мм:

медь $9,5 \times 56 = 532$

$11,8 \times 8 = 94,4$

бумага $0,55 \times 64 = 35,2$

$\rightarrow (-15\%) \ 29,9$

картон $4,8 \times 53 = 254,4$

$318,4 \rightarrow (-6,2\%) \ 298,7$

$6,4 \times 10 = 64$

высота: 980

955

(до прессовки)

(после прессовки)

На один стержень изготовить 28 двойных катушек «П-П» и 4 двойных катушки «Р-Р», намотанных 4-мя параллельными проводами, на клиньях на бумажно-бакелитовой трубке ТБ Ø 760 / 772 x 1055.

Направление намотки – левое.

Расположение каналов симметричное: с каждого края по 5 канала по 6,4 мм, остальные – по 4,8 мм.

верх

низ

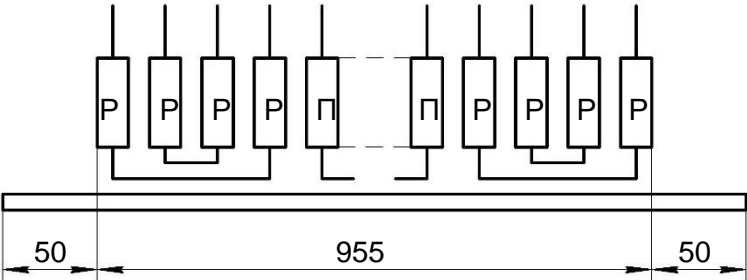


Рисунок 3.4 - Схема строения обмотки НН

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Листы	№ докум.	Подпись	Дата

БТЛИ. 670124.157 РР

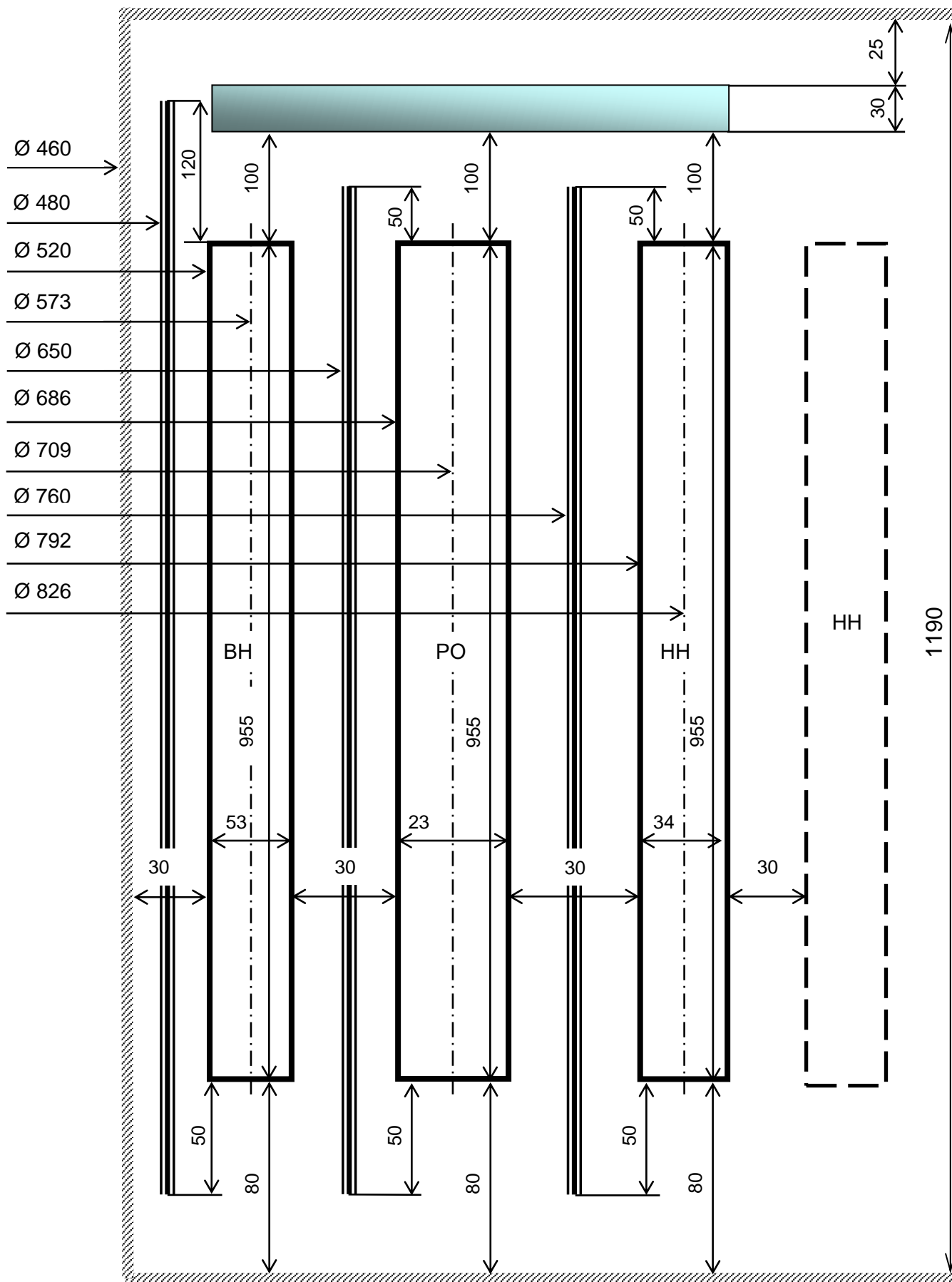


Рисунок 3.5 - Радиальное строение

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Листы	№ докум.	Подпись	Дата

БТЛИ. 670124.157 РР

Лист

10

Формат А4

3.4. Расчет массы обмоток

Обмотка ВН:

$$M_{ВН} = 3 \times 8,9 \times (0,573 \times \pi \times 830 + 1) \times 1 \times 25,77 \times 0,001 = 1029 \text{ кг.}$$

Обмотка РО:

$$M_{РО} = 3 \times 8,9 \times (0,709 \times \pi \times 33 + 1) \times 5 \times 29,64 \times 0,001 = 295 \text{ кг.}$$

Обмотка НН:

$$M_{НН (П)} = 3 \times 8,9 \times (0,826 \times \pi \times 3 + 1) \times 4 \times 28 \times 46,64 \times 0,001 = 1227 \text{ кг.}$$

$$M_{НН (Р)} = 3 \times 8,9 \times (0,826 \times \pi \times 3 + 1) \times 4 \times 4 \times 58,14 \times 0,001 = 219 \text{ кг.}$$

4. Расчет потерь короткого замыкания

1 положение ПУ:

$$P_{ВН} = 2,37 \times 3,880^2 \times 1029 = 36714 \text{ Вт}$$

$$P_{РО} = 2,37 \times 3,374^2 \times 295 = 7959 \text{ Вт}$$

$$P_{НН (П)} = 2,37 \times 3,578^2 \times 1227 = 37228 \text{ Вт}$$

$$P_{НН (Р)} = 2,37 \times 3,732^2 \times 219 = 7229 \text{ Вт}$$

$$B_{ВН} = \frac{1,78 \times 830 \times 100 \times 0,943}{95,5} = 1459 \text{ Гс;}$$

$$B_{НН} = \frac{1,78 \times 22164 \times 3 \times 0,943}{95,5} = 1169 \text{ Гс;}$$

$$B^2_{РО} = 1459^2 + 1459 \times 1169 + 1169^2 = 5200813 \text{ Гс}^2$$

$$p_{ВН} = 3,1 \times 10^{-6} \times 1459^2 \times \left(\frac{3,75}{3,88} \right)^2 = 6,16 \% \text{ (2262 Вт)}$$

$$p_{РО} = 3,1 \times 10^{-6} \times 5200813 \times \left(\frac{2,0}{3,374} \right)^2 = 5,67 \% \text{ (451 Вт)}$$

$$p_{НН (П)} = 3,1 \times 10^{-6} \times 1169^2 \times \left(\frac{5,0}{3,578} \right)^2 = 8,27 \% \text{ (3079 Вт)}$$

$$p_{НН (Р)} = 3,1 \times 10^{-6} \times 1169^2 \times \left(\frac{5,0}{3,732} \right)^2 = 7,60 \% \text{ (549 Вт)}$$

Отводы:

$$S_{отв} = 10 \times 120 = 1198,1 \text{ мм}^2$$

$$P_{отв} = 2,37 \times 4,62^2 \times 430 = 21752 \text{ Вт}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата						
Изм.	Листы	№ докум.	Подпись	Дата	БТЛИ. 670124.157 РР					Лист
										11

5. Расчет напряжения короткого замыкания

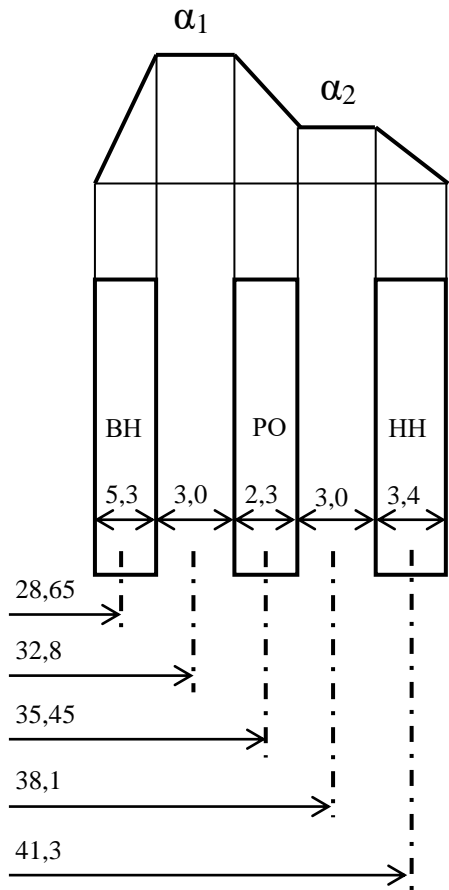


Рисунок 5.1 - Радиальное строение

1 положение ПУ:

$$\alpha_1 = \frac{830 \times 100}{830 \times 100} = 1$$

$$\alpha_2 = \frac{3 \times 22164}{830 \times 100} = 0,8$$

$$\sum DR = \frac{5,3}{3} \times 28,65 \times 1^2 + 3,0 \times 32,8 \times 1^2 + \frac{2,3}{3} \times 35,45 \times (1^2 + 1 \times 0,8 + 0,8^2) + 3,0 \times 38,1 \times 0,8^2 + \frac{3,4}{3} \times 41,3 \times 0,8^2 = 318,45 \text{ см}^2$$

$$H_{\text{ср}} = \frac{95,5 + 95,5 + 95,5}{3} = 95,5 \text{ см}$$

$$a_{\text{ср}} = 5,3 + 3,0 + 2,3 + 3,0 + 3,4 = 17 \text{ см}$$

$$\rho = 1 - \frac{17}{\pi \times 95,5} = 0,943$$

$$Q = 3 \times \frac{24,8 \times 22164^2 \times 3^2 \times 318,45 \times 0,943}{95,5 \times 10^6} = 1034335 \text{ ВАР}$$

$$u_s = \frac{1034335}{10500 \times 1000} \times 100 = 9,85 \%$$

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Листы	№ докум.	Подпись	Дата

БТЛИ. 670124.157 РР				
---------------------	--	--	--	--

Лист
12

$$u_a = \frac{131745}{10500 \times 10} = 1,25 \%$$
$$u_k = \sqrt{9,85^2 + 1,25^2} = 9,93 \%$$

6. Расчет сопротивления обмоток

$$R_{BH} = \frac{0,021 \times 1495}{1 \times 25,77} = 1,218 \text{ Ом}$$
$$R_{PO} = \frac{0,021 \times 74,5}{1 \times 29,64} = 0,0528 \text{ Ом}$$
$$R_{AX} = R_{BH} + n \times R_{PO}$$

Таблица 6

Положение ПУ	1	2	3	4	5
R _{AX}	1,4820	1,4292	1,3764	1,3236	1,2708

Сопротивление катушек «П-П» и «Р-Р» обмотки НН:

$$R_{П-П} = \frac{0,021 \times 8,8}{4 \times 46,64} = 9,9 \times 10^{-4} \text{ Ом}$$
$$R_{Р-Р} = \frac{0,021 \times 8,8}{4 \times 58,14} = 7,9 \times 10^{-4} \text{ Ом}$$

Ив. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Ив. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Листы	№ докум.	Подпись	Дата	БТЛИ. 670124.157 РР	Лист
						13

7. Расчет магнитной системы

Таблица 7.1 – Размеры пакетов магнитопровода

Номер пакета	Стержень				Ярмо				Угол	
	Ширина, см	Толщина, см	Канал, см	Сечение, см ²	Ширина, см	Толщина, см	Канал, см	Сечение, см ²	Объем, см ³	
1	45,0	4,4	0,6	198,0	45,0	4,4	0,6	198,0	8910,0	
2	44,0	2,0	-	88,0	44,0	2,0	-	88,0	3872,0	
3	42,5	2,1	-	89,25	42,5	2,1	-	89,25	3793,125	
4	41,0	1,6	-	65,6	41,0	1,6	-	65,6	2689,6	
5	38,5	2,2	-	84,7	38,5	2,2	-	84,7	3260,95	
6	36,8	1,2	-	44,16	36,8	1,2	-	44,16	1625,088	
7	35,0	1,1	-	38,5	35,0	1,1	-	38,5	1347,5	
8	32,5	1,4	-	45,5	32,5	1,4	-	45,5	1478,75	
9	31,0	0,7	-	21,7	31,0	0,7	-	21,7	672,7	
10	29,5	0,6	-	17,7	29,5	0,6	-	17,7	522,15	
11	27,0	1,0	-	27,0	27,0	1,0	-	27,0	729,0	
12	25,0	0,7	-	17,5	25,0	0,7	-	17,5	437,5	
13	23,0	0,6	-	13,8	25,0	0,6	-	15,	345,0	
14	21,5	0,4	-	8,6	25,0	0,4	-	10	215,0	
				1520,02					1525,22	59796,726

Расчет частей магнитопровода:

$P_V = 1520,02 \times 45,0 - 59796,726 = 8604,174 \text{ см}^3$

$V_{\text{ст}} = 1520,02 \times 119,0 + 8604,174 = 189486,554 \text{ см}^3$

$V_{\text{ярм}} = 1525,22 \times 89,0 - 59796,726 = 75947,854 \text{ см}^3$

$M_{\text{ст}} = 3 \times 7,65 \times 0,955 \times 189486,554 \times 10^{-3} = 4153,0 \text{ кг}$

$M_{\text{ярм}} = 4 \times 7,65 \times 0,955 \times 75947,854 \times 10^{-3} = 2219,0 \text{ кг}$

$M_{\text{угл}} = 6 \times 7,65 \times 0,955 \times 59796,726 \times 10^{-3} = 2621,0 \text{ кг}$

$M_{\text{магн}} = 4153,0 + 2219,0 + 2621,0 = 8993 \text{ кг}$

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Листы	№ докум.	Подпись	Дата

БТЛИ. 670124.157 РР	

8. Расчет потерь

Таблица 8 – Сводная таблица потерь

Поло- жение ПУ	Потери, Вт											U _к , %	I _{xx} , %
	обмотка РО		обмотка ВН		обмотка НН		в отводах	в констр.	P _{кз}	P _{xx}	ΣP		
	осн.	доб.	осн.	доб.	осн.	доб.							
1	7959	610	36714	2996	44457	4508	21752	10880	129876	15747	145623	9,93	0,882
2	5781	458	33350	2721	44457	4508	21752	10536	123563	13804	137367	10,85	0,777
3	3910	320	30080	2455	44457	4508	21752	10169	117651	12121	129772	12,02	0,661
4	2393	202	27598	2252	44457	4508	21752	9923	113085	10873	123958	12,93	0,548
5	1118	96	25791	2107	44457	4508	21752	9787	109616	9884	119500	13,93	0,452
6	0	0	23497	1917	44457	4508	21752	9550	105681	9062	114743	15,19	0,401
7	946	87	21832	1782	44457	4508	21752	9624	104988	8373	113361	15,17	0,36
8	1758	167	20270	1654	44457	4508	21752	9685	104251	7765	112016	15,3	0,325
9	2440	240	18780	1533	44457	4508	21752	9744	103454	7242	110696	15,28	0,294
10	3076	310	17739	1448	44457	4508	21752	9882	103172	6777	109949	15,43	0,262
11	3539	370	16334	1333	44457	4508	21752	9891	102184	6364	108548	15,49	0,233

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

					БТЛИ. 670124.157 РР	Лист
						15
Изм.	Листы	№ докум.	Подпись	Дата		

9 Тепловой расчет обмоток

Тепловой расчет обмоток производится на 1 положении ПУ.

Обмотка ВН:

$$K = \frac{\pi \times 573 \times (53 + 8,06)}{\pi \times 573 \times (53 + 8,06) - (53 \times 40 \times 16 + 0,5 \times 8,06 \times 25 \times 32)} = 1,51$$

$$q = \frac{21 \times 100 \times 3,88 \times 11 \times 1,51 \times 1,06}{2 \times (53 + 8,06)} = 1175 \frac{\text{BT}}{\text{M}^2}$$

$$\Delta\tau_{\text{II}} = 1,40 \times 1175^{0,58} \times \left(\frac{53}{4,7}\right)^{0,26} \times (14 + 12)^{-0,35} \times 55^{-0,3} = 15,2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\tau_{\text{н}} = 1175 \times 10^{-3} \times \left(\frac{0,96}{2 \times 0,155} \right) = 3,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\tau_{\text{BH/M}} = 15,2 + 3,6 = 18,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Обмотка РО:

$$K = \frac{\pi \times 709 \times (23 \times 17,48)}{\pi \times 709 \times (23 + 17,48) - (23 \times 40 \times 16 + 0,5 \times 17,48 \times 25 \times 32)} = 1,32$$

$$q = \frac{21 \times 100 \times 3,37 \times 5 \times 1,32 \times 1,057}{2 \times (23 + 17,48)} = 608 \frac{\text{BT}}{\text{M}^2}$$

$$\Delta\tau_{\text{II}} = 1,40 \times 608^{0,58} \times \left(\frac{23}{113}\right)^{0,26} \times (12 + 14)^{-0,35} \times 55^{-0,3} = 6,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\tau_{\text{н}} = 608 \times 10^{-3} \times \left(\frac{2,48}{2 \times 0,155} \right) = 4,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta\tau_{\text{pO/M}} = 6,7 + 4,9 = 11,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Обмотка НН:

$$K_{\Pi} = \frac{\pi \times 826 \times (34 + 10,05)}{\pi \times 826 \times (34 + 10,05) - (34 \times 40 \times 16 + 0,5 \times 10,05 \times 25 \times 32)} = 1,29$$

$$q_{\text{п}} = \frac{21 \times 667,6 \times 3,58 \times 1,5 \times 1,29 \times 1,08}{2 \times (34 + 10,05)} = 1195 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$\Delta\tau_{\text{II}} = 1,40 \times 1195^{0,58} \times \left(\frac{34}{4,55}\right)^{0,26} \times (14)^{-0,35} \times 55^{-0,3} = 17,2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\tau_{\text{н}} = 1195 \times 10^{-3} \times \left(\frac{0,55}{2 \times 0,155} \right) = 2,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta\tau_{\text{HHП/М}} = 17,2 + 2,1 = 19,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$K_p = \frac{\pi \times 826 \times (34 + 12,35)}{\pi \times 826 \times (34 + 12,35) - (34 \times 40 \times 16 + 0,5 \times 12,35 \times 25 \times 32)} = 1,29$$

$$q_p = \frac{21 \times 867,9 \times 3,73 \times 1,5 \times 1,29 \times 1,08}{2 \times (34 + 12,35)} = 1521 \frac{\text{BT}}{\text{M}^2}$$

$$\Delta\tau_{\text{II}} = 1,40 \times 1521^{0,58} \times \left(\frac{34}{6,0}\right)^{0,26} \times (14)^{-0,35} \times 55^{-0,3} = 18,4 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\tau_{\text{н}} = 1521 \times 10^{-3} \times \left(\frac{0,55}{2 \times 0,155} \right) = 2,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\tau_{\text{HHp/M}} = 18,4 + 2,7 = 21,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. №дубл.	Подп. и дата	$\Delta\tau_{PO/M} = 6,7 + 4,9 = 11,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ Обмотка НН: $K_{II} = \frac{\pi \times 826 \times (34 + 10,05)}{\pi \times 826 \times (34 + 10,05) - (34 \times 40 \times 16 + 0,5 \times 10,05 \times 25 \times 32)} = 1,29$ $q_{II} = \frac{21 \times 667,6 \times 3,58 \times 1,5 \times 1,29 \times 1,08}{2 \times (34 + 10,05)} = 1195 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ $\Delta\tau_{II} = 1,40 \times 1195^{0,58} \times \left(\frac{34}{4,55}\right)^{0,26} \times (14)^{-0,35} \times 55^{-0,3} = 17,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\Delta\tau_{и} = 1195 \times 10^{-3} \times \left(\frac{0,55}{2 \times 0,155}\right) = 2,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\Delta\tau_{HHII/M} = 17,2 + 2,1 = 19,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $K_p = \frac{\pi \times 826 \times (34 + 12,35)}{\pi \times 826 \times (34 + 12,35) - (34 \times 40 \times 16 + 0,5 \times 12,35 \times 25 \times 32)} = 1,29$ $q_p = \frac{21 \times 867,9 \times 3,73 \times 1,5 \times 1,29 \times 1,08}{2 \times (34 + 12,35)} = 1521 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ $\Delta\tau_{II} = 1,40 \times 1521^{0,58} \times \left(\frac{34}{6,0}\right)^{0,26} \times (14)^{-0,35} \times 55^{-0,3} = 18,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\Delta\tau_{и} = 1521 \times 10^{-3} \times \left(\frac{0,55}{2 \times 0,155}\right) = 2,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\Delta\tau_{HHp/M} = 18,4 + 2,7 = 21,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$
					<div> <div>Изм.</div> <div>Листы</div> <div>№ докум.</div> <div>Подпись</div> <div>Дата</div> </div> <div>БТЛИ. 670124.157 РР</div> <div> <div>Лист</div> <div>16</div> </div>

10 Тепловой расчет трансформатора

Для охлаждения трансформатора применяются 2 рабочих охладителя типа Ц-160/1250 со следующими объемными расходами масла и воды (система охлаждения выносная):

$$Q_M = 60 \frac{\text{М}^3}{\text{ч}}, \quad Q_B = 35 \frac{\text{М}^3}{\text{ч}}, \quad [t_{\text{воды}}] = 30,0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Максимальные потери, приходящиеся на один охладитель:

$$P = \frac{1,5 \times 145623}{2} = 109217 \text{ BТ}$$

$$\tau_{\text{BCM}} = 15,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\tau_{\text{CM}} = 15,8 - \frac{3,4}{2} = 14,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\tau_{\text{PO/B}} = 14,1 + 11,6 = 25,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\tau_{\text{BH/B}} = 14,1 + 18,8 = 32,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\tau_{\text{HH}_{\Pi/\text{B}}} = 14,1 + 19,3 = 33,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\tau_{\text{HHp/B}} = 14,1 + 21,1 = 35,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Инв. № подл.						Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	
Изм.	Листы	№ докум.	Подпись	Дата	БТЛИ. 670124.157 РР					Лист
										17

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

[illegible]

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

					БТЛИ. 670124.157 РР	Лист
						18
Изм.	Листы	№ докум.	Подпись	Дата		