

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Институт дистанционного образования и профессионального развития

Кафедра «Энергетика»

Сағидуллаұлы Манас

Исследование трехфазного четырехполюсного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором мощностью 3 кВт

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 5В071800 – Электроэнергетика

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Институт дистанционного образования и профессионального развития

Кафедра «Энергетика»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

PhD, ассоц профессор

 Е.А.Сарсенбаев

«15» июня 2020 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА


На тему: «Исследование трехфазного четырехролюсного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором мощностью 3 кВт»

по специальности 5В071800 – «Электроэнергетика»

Выполнил

Сағидуллаұлы М.

Научный руководитель
к.т.н., ассистент-профессор


_____ А.А.Жуматова
(подпись)

«10 » июня 2020 г.

Алматы 2020

Институт дистанционного образования и профессионального развития

Кафедра «Энергетика»

Специальность 5В071800 – «Электроэнергетика»

УТВЕРЖАЮ

Заведующий кафедрой

PhD, ассоц профессор

 Е.А.Сарсенбаев

«27» октября 2019 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Сағидуллаұлы Манас

Тема: Исследование трехфазного четырехролюсного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором мощностью 3 кВт

Утверждена приказом руководителя университета № 345-П от 24.10.2019 г.

Срок сдачи законченной работы «1» июня 2020 г.

Исходные данные к дипломной работе: Питание может быть осуществлено от подстанции энергосистемы, на которой установлены два трёхобмоточных трансформатора мощностью по 31,5 МВА, напряжением 115/37/6,3 кВ. Мощность системы 600 МВА, реактивное сопротивление системы на стороне 115 кВ, отнесенное к мощности системы, 0,2.

Перечень подлежащих разработке вопросов или краткое содержание дипломной работы:

а) Расчет электрических нагрузок завода;

б) Технико-экономический расчет;

в) Исследование вопросов перенапряжения на оборудовании, подключенном к линиям

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): Графический материал представлен в виде презентации




Рекомендуемая основная литература: 12 наименований


ГРАФИК
подготовки дипломной работы

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Основная часть	01.05.2020 г	нет
Специальная часть	01.06.2020 г	нет

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Научный руководитель и консультанты	Дата подписания	Подпись
Основная часть	Жуматова А.А. к.т.н., ассистент-профессор	10.06.2020 г.	
Специальная часть	Жуматова А.А. к.т.н., ассистент-профессор	10.06.2020 г.	
Нормоконтролер	Бердибеков А.О. Сениор-лектор	10.06.2020 г.	

Научный руководитель _____  _____ Жуматова А.А.
(подпись)

Задание принял к исполнению обучающийся _____  _____ Сағидуллаулы М.
(подпись)

Дата « 1 » марта 2020 г.

АНДАТПА

Дипломдық жұмыс үш фазалы төрт доңғалақты асинхронды қозғалтқышты, қуаттылығы 3 кВт зерттеуге арналған. Осы мақсатқа жету үшін бірқатар міндеттер шешіледі: қондырғыға сәйкес электр жүктемесін анықтау. жарықтандыруды есептеу; кәсіпорындағы төмен вольтты электр жүктемелерін есептеу; Энергия тұтынуды анықтау; 6 кВ автобустардағы реактивті қуатты есептеу; Қысқа тұйықталу тогын есептеу және жабдықты таңдау. Электр станцияларын қуаттылығы 31,5 МВА электр станциясынан, кернеуі 115/37 / 6.3 кВ болатын екі қуатты үш трансформатордан алуға болады. Жүйелік қуаты 600 МВА, жүйелік қуат, 115 кВ, жүйелік жауап, 0,2.

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа посвящена исследованию трехфазного четырехполюсного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором мощностью 3 кВт. Для достижения этой цели будет решен ряд задач: определить электрические нагрузки в соответствии с установкой. расчет освещенности; расчет низковольтных электрических нагрузок на предприятии; Определение энергопотребления; Расчет реактивной мощности в шинах 6 кВ; Расчет токов короткого замыкания и выбор оборудования. Электростанции могут поставляться от электростанции мощностью 31,5 МВА, двух мощных трех трансформаторов напряжением 115/37 / 6,3 кВ. Мощность системы 600 МВА, мощность системы, 115 кВ, реакция системы, 0,2.

ANNOTATION

The thesis is devoted to the study of a three-phase four-wheel asynchronous squirrel-cage motor with a power of 3 kW. To achieve this goal, a number of tasks will be solved: to determine the electrical load in accordance with the installation. calculation of illumination; calculation of low-voltage electrical loads at the enterprise; Definition of energy consumption; Calculation of reactive power in 6 kV buses; Calculation of short circuit currents and equipment selection. Power plants can be supplied from a power plant with a capacity of 31.5 MVA, two powerful three transformers with a voltage of 115/37 / 6.3 kV. System power 600 MVA, system power, 115 kV, system response, 0.2.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	7
1	Технологический процесс производства	8
1.1	Исходные данные	8
2	Основная часть	9
2.1	Расчет осветительной нагрузки по цехам предприятия	9
2.2	Расчет электрических нагрузок	9
2.3	Определение числа цеховых трансформаторов и компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ	13
2.4	Распределение $Q_{нбк}$ пропорционально реактивным нагрузкам ТП	16
2.5	Расчет электрических нагрузок на шинах 10 кВ	16
2.6	Сравнение вариантов внешнего электроснабжения	20
3	Выбор оборудования и расчет токов короткого замыкания $U=10кВ$	29
4	Специальная часть	39
4.1	Выбор главных размеров и расчет обмотки статора	39
4.2	Выбор числа пазов и типа обмотки статора, расчет обмотки и размеров зубцовой зоны статора	40
4.3	Выбор воздушного зазора	49
4.4	Расчет короткозамкнутого ротора	50
4.5	Исследование влияния изменения величины воздушного зазора на параметры асинхронного двигателя	56
	Заключение	59
	Список использованной литературы	60

ВВЕДЕНИЕ

Целью данной дипломной работы является исследование трехфазного четырехполюсного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором мощностью 3 кВт. Для достижения данной цели принимается ряд задач:

- определение электрических нагрузок по заводу, т.е. расчет освещения;
- расчет низковольтных электрических нагрузок по предприятию;
- определение потерь мощности;
- расчет компенсации реактивной мощности на шинах 6 кВ;
- расчет токов короткого замыкания и выбор оборудования.

В данной дипломной работе рассмотрены асинхронные двигатели которые, являются основными преобразователями электрической энергии в механическую и составляют основу электропривода большинства механизмов, используемых во всех отраслях промышленности, сельского хозяйства, транспорта и в быту. Это объясняется простотой их конструкции, большой надежностью и высоким значением коэффициента полезного действия. Более 60% всей электрической энергии, вырабатываемой в мире, преобразуется в механическую энергию с их помощью.

Асинхронные двигатели общего назначения мощностью от 0,06 до 400 кВт на напряжение до 1000 В – наиболее широко применяемые электрические машины. На их изготовление расходуется большое количество дефицитных материалов: обмоточной меди, электротехнической стали, изоляционных и конструкционных материалов. Затраты на обслуживание и ремонт асинхронных двигателей в процессе их эксплуатации составляют более 5% затрат на ремонт и обслуживание всего установленного оборудования. Поэтому создание экономичных и надежных асинхронных двигателей является важнейшей задачей.

По энергетическим, пусковым, механическим и эксплуатационным характеристикам асинхронные двигатели современных серий должны удовлетворять государственным стандартам, требованиям документов международной электротехнической комиссии и соответствовать современному уровню развития производства.

Важнейшее значение для международной торговли асинхронными двигателями имеет стандартизация шкалы мощностей и рядов установочных размеров, а также увязка шкалы мощностей с установочными размерами.

В выпускной квалификационной работе представлен расчет трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором общего назначения со сборной обмоткой на статоре.

1 Технологический процесс производства

Основной целью дипломной работы является исследование технического состояния трехфазного четырехполюсного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором мощностью 3 кВт и путей его совершенствования в системе электроснабжения деревообрабатывающего завода. Выбор новой схемы электроснабжения осуществляется путем сравнения двух новых версий схем электроснабжения этого предприятия. Выбор новой схемы передачи электроэнергии осуществляется путем сравнения двух вариантов схем электроснабжения предприятия.

1.1 Исходные данные

Питание может быть осуществлено от подстанции энергосистемы, на которой установлены два трёхобмоточных трансформатора мощностью по 31,5 МВА, напряжением 115/37/6,3 кВ. Мощность системы 600 МВА, реактивное сопротивление системы на стороне 115 кВ, отнесенное к мощности системы, 0,2. Расстояние от подстанции энергосистемы до завода 4,6 км. Завод работает в две смены. Сведения об электрических нагрузках по цехам завода – таблица 1.1.

Генеральный план завода представлен на рисунке 1.1

Таблица 1.1 Электрические нагрузки ТОО «Байкен-У», рудник «Харасан-2»

№ п/п	Наименование	Кол-во ЭП, п	Установленная мощность	
			Одного ЭП Рн, кВт	Суммарная Σ Рн, кВт
1	2	3	4	5
1	ЦППР (цех переработки продуктивных растворов)	100	1-100	2500
2	ЦА (цех аффинаж)	50	10-80	950
3	САС (Склад аммиачной селитры)	41	1,5-22	328,2
4	СГП (склад готовой продукции)	30	10-40	700
5	АХС (административно-хозяйственной службы)	40	3-40	1200
6	Компрессорная: а) 0,4 кВ	8	10-20	100
7	б) СД 10 кВ	4	720	2880
8	Столовая	30	1-40	320
9	Гараж	20	5-28	280

2 Основная часть

2.1 Расчет осветительной нагрузки по цехам предприятия

Расчет осветительной нагрузки при определении нагрузки деревообрабатывающего завода производим упрощенным методом по удельной плотности осветительной нагрузки на квадратный метр производственных площадей и коэффициенту спроса.

По этому методу расчетная осветительная нагрузка принимается равной средней мощности освещения за наиболее загруженную смену и определяется по формуле:

$$P_{po} = K_{co} P_{yo}, \text{ кВт} \quad (2.1)$$

$$Q_{po} = tg_o P_{po}, \text{ квар}, \quad (2.2)$$

где K_{co} – коэффициент спроса по активной мощности осветительной нагрузки, числовые значения которого принимаю по таблице 3.1

tg_o – коэффициент реактивной мощности, определяется по $\cos \varphi$ в таблице 3.3;

P_{yo} – установленная мощность приемников освещения по цеху, определяется по удельной осветительной нагрузке на 1 м^2 поверхности пола известной производственной площади:

$$P_{yo} = K_{co} F, \text{ кВт}. \quad (2.3)$$

где F – площадь производственного помещения, которая определяется по генеральному плану фабрики, в м^2 ;

$$F_{\text{террцехов}} = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_{15}, \quad (2.4)$$

$$F_{\text{тер завода}} = A B, \text{ м}^2 \quad (2.5)$$

$$F_{\text{освещаем терр}} = F_{\text{тер завода}} - F_{\text{террцехов}}, \quad (2.6)$$

Эта величина зависит от рода помещения и выбирается согласно таблице 5-42. Все расчетные данные заносятся в таблицу 2.2 - Расчет осветительной нагрузки.

2.2 Расчет электрических нагрузок

Расчет электрических нагрузок напряжением до 1 кВ по цехам завода производим также методом упорядоченных диаграмм упрощенным способом. Результаты расчета силовых и осветительных нагрузок по цехам сведены в таблицу 2.3. «Расчет силовых нагрузок по цехам завода напряжением 0,4 кВ».

Таблица 2.1 - Расчет осветительной нагрузки

№ по плану	Наименование производственного помещения	Размеры помещения, длина(м) × ширина(м)	Площадь помещения, м ²	Удельная осветительная нагрузка, \square_0 , кВт/м ²	Коэффициент спроса, Кс	Установленная мощность освещения, Р _{уо} , кВт	Расчетная мощность осветительной нагрузки		cosφ / tgφ
							Р _{ро} , кВт	Q _{ро} , квар	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ЦППР (цех переработки продуктивных растворов)	52,5×12,5	656,3	0,016	0,8	10,5	8,4	4,2	0,9/0,5
2	ЦА (цех аффинаж)	35×50+45×40	3550	0,016	0,8	56,8	45,4	22,7	0,9/0,5
3	САС (Склад аммиачной селитры)	37,5×22,5	843,8	0,018	0,8	15,2	12,2	6,1	0,9/0,5
4	СГП (склад готовой продукции)	80×115	9200	0,015	0,8	138	110,4	55,2	0,9/0,5
5	АХС (административно-хозяйственной службы)	157,5×25	3937,5	0,016	0,8	63	50,4	25,2	0,9/0,5
6	Компрессорная	20×20	400	0,013	0,7	5,2	3,6	1,8	0,9/0,5
7	Столовая	35×12,5	437,5	0,02	0,9	8,8	7,8	3,9	0,9/0,5
8	Гараж	42,5×7,5	318,8	0,013	0,7	4,1	3	1,5	0,9/0,5
9	Территория	417,5×267,5	71919,5	0,002	1	143,8	143,8	71,9	0,9/0,5

Таблица 2.2 - Расчет силовых нагрузок по цехам деревообрабатывающего завода, U = 0,4кВ

№ цехов	Наименование цехов	Кол-во ЭП, n	Установленная мощность, кВт		m	K _и	cos φ _н tg φ _н	Средние нагрузки		n _э	K _м	Расчетные нагрузки			I _р , А
			P _{н min} ÷ P _{н max}	□ P _н				P _{см} , кВт	Q _{см} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Нагрузки напряжением 0,4 кВ															
1	ЦППР силовая	100	1-100	2500	>3	0,3	0,8/0,75	750	562,5	50	1,16	870	562,5		
	б) осветительная											8,4	4,2		
	Итого											878,4	566,7	1045,3	1590,1
2	ЦА (цех аффинаж)														
	а) силовая	50	10-80	950	>3	0,35	0,8/0,75	332,5	249,4	24	1,26	419	249,4		
	б) осветительная											45,4	22,7		
	Итого											464,4	272,1	538,2	818,7
3	САС (Склад аммиачной селитры)														
	а) силовая	40	1,5-23	328,2	>3	0,4	0,75/0,88	131,2	115,5	14	1,46	191,5	115,5		
	б) осветительная											12,2	6,1		
	Итого											203,7	121,6	237,2	360,8
4	СГП а) силовая	30	10-40	700	>3	0,3	1,16	210	243,6	30	1,24	260,4	243,6		
	б) осветительная											110,4	55,2		
	Итого											370,8	298,8	476,2	724,4
5	АХС (административно-хозяйственной службы)														
	а) силовая	40	3-40	1200	>3	0,35	1,02	420	428,4	40	1,17	491,4	428,4		
	б) осветительная											50,4	25,2		
	Итого											541,8	453,6	706,6	1074,9

(продолжение) таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
6	Компрессорная														
	а) силовая	8	10-20	100	>3	0,65	0,8/0,75	65	48,8	8	1,26	81,9	53,6		
	б) осветительная											3,6	1,8		
	итого											85,5	55,4	101,9	155,1
7	Заводоуправление														
	а) силовая	20	14	100	>3	0,5	0,75/0,88	50	44	14	1,25	62,5	44,0		
	б) осветительная											13,5	6,8		
	итого											76	50,8	91,4	139
8	Столовая														
	а) силовая	30	40	320	>3	0,5	0,75/0,88	160	140,8	16	1,23	196,8	140,8		
	б) осветительная											7,9	3,9		
	итого											204,7	144,7	250,7	381,3
9	Гараж														
	а) силовая	20	28	280	>3	0,3	0,7/1,02	84	85,7	20	1,5	126	85,7		
	б) осветительная											3	1,5		
	итого											129	87,1	155,6	236,7
	Освещение территории											143,8	71,9		
	Итого на шинах 0,4 кВ											5161,9	3663,5	6329,8	9628,6

2.3 Определение числа цеховых трансформаторов и компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ

Суммарная расчетная мощность НБК равна:

$$Q_{\text{нбк}} = Q_{\text{нбк1}} + Q_{\text{нбк2}}, \text{ квар} \quad (2.7)$$

Суммарная мощность НБК распределяется между отдельными трансформаторами цеха пропорционально их расчетным нагрузкам.

1. Для каждой технологически концентрированной группы цеховых трансформаторов одинаковой мощности минимальное их число, необходимое для питания наибольшей расчетной активной нагрузки, равно:

$$N_{\text{min т}} = \frac{P_{p0,4}}{K_3 \cdot S_{\text{нт}}} + \Delta N, \quad (2.8)$$

где ΔN - добавка до ближайшего целого числа.

Завод относится ко второй категории потребителей, работает в две смены, следовательно, $K_3 \text{ тр} = 0,8$.

$$N_{\text{min т}} = \frac{5161,9}{0,8 \cdot 630} + 0,76 = 11 \text{ трансформаторов.}$$

Определим $N_{\text{тэ}}$ - экономически оптимальное число трансформаторов:

$$N_{\text{тэ}} = N_{\text{min т}} + m, \quad (2.9)$$

где m - дополнительное число трансформаторов.

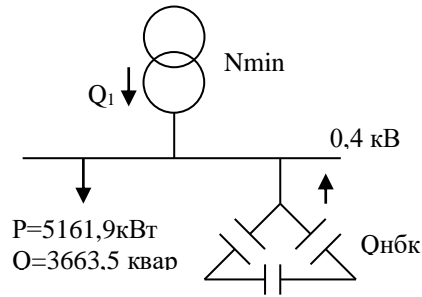
$Z_{\text{п/ст}}^* = 0,5$; $K_3 = 0,8$; $\Delta N = 0,76$; $N_{\text{min т}} = 11$; следовательно $m = 0$

$N_{\text{тэ}} = 11 + 0 = 11$ трансформаторов.

По выбранному числу трансформаторов определяем наибольшую реактивную мощность, которую целесообразно передать через трансформаторы в сеть напряжением до 1 кВ:

$$Q_1 = \sqrt{(Nm \cdot K_3 \cdot S_{\text{нт}})^2 - P_{p0,4}^2}$$

$$Q_1 = \sqrt{(11 \cdot 0,8 \cdot 630)^2 - 5161,9^2} = 2022,5 \text{ квар}$$



Из условия баланса реактивная мощность на шинах 0,4 кВ определим:

$$Q_{нбк1} = Q_{p0,4} - Q_1 = 3663,5 - 2022,5 = 1641 \text{ квар}$$

2. Определим дополнительную мощность НБК по условию снижения потерь в сети:

$$Q_{нбк2} = Q_{p0,4} - Q_{нбк1} - \gamma \cdot N_{тэ} \cdot S_{нт},$$

где γ - расчетный коэффициент, определяемый в зависимости от коэффициентов K_1 и K_2 , $\gamma = f(K_1; K_2)$ $K_1=16$; $K_2=2$. При магистральном питании по кривым принимаем $\gamma=0,6$

$$Q_{нбк2} = 3663,5 - 2022,5 - 0,6 \times 11 \times 630 = -2517 \text{ квар}$$

Принимаем $Q_{нбк2}=0$, то $Q_{нбк} = Q_{нбк1} = 1641 \text{ квар}$

Определим мощность $Q_{нбк}$ тп, приходящую на каждый трансформатор:

$$Q_{нбк \text{ тп}} = \frac{Q_{нбк}}{N} = \frac{1641}{11} = 149 \approx 150 \text{ квар}$$

Предварительное распределение низковольтных нагрузок сведем в таблицу 2.4

Таблица 2.4 - Предварительное распределение низковольтных нагрузок по ЦТП

№№ ТП S _{нт} , Q _{нбк} тп	№№ цехов	P _{p 0,4} , кВт	Q _{p 0,4} , квар	S _{p0,4} , кВА	Kз'
1	2	3	4	5	6
ТП 1 (2×630) ТП 2 (2×630)	1	878,4	566,7		
	4	370,8	298,8		
	8	460,1	301		
	15	128,9	87,1		
	13	76	50,8		
$\Sigma S_{нт} = 2520 \text{ кВА}$		1914,2	1304,4		

Qнбк=4×150 квар		—	-600		
ИТОГО		1914,2	704,4	2039,7	0,81
ТП 3 (2×630) ТП 4 (1×630)	3	203,7	121,6		
	7	286,5	200,4		
	9	633,6	476,8		
	10	129,4	70,8		
	12	85,5	55,4		
	11	35,7	17,3		
	освещ. терр.	143,8	71,9		
ΣSн=1890 кВА		1417,7	953,6		
Qнбк=3×150 квар		—	-450		
ИТОГО		1417,7	503,6	1504,5	0,8
ТП 5 (2×630) ТП 6 (2×630)	5	541,8	453,6		
	2	464,4	272,1		
	6	634,1	535,1		
	14	204,7	144,7		
ΣSн=2520 кВА		1845	1405,5		
Qнбк=4×150 квар		—	-600		
ИТОГО		1845	805,5	2013,2	0,8

2.4 Распределение $Q_{нбк}$ пропорционально реактивным нагрузкам ТП

$$\frac{Q_{p0,4}}{Q_{нбк}} = \frac{Q_{pтп}}{Q_{pнбктп}} \Rightarrow X = \frac{Q_{нбк} \times Q_{pтп1,2}}{Q_{p0,4}} \quad (2.10)$$

$$\text{ТП1, ТП2: } X1 = \frac{1641 \times 1304,4}{3663,5} = 584 \text{ квар,}$$

$$\text{ТП3, ТП4: } X2 = \frac{1641 \times 953,6}{3663,5} = 427 \text{ квар}$$

$$\text{ТП5, ТП6: } X3 = \frac{1641 \times 1405,5}{3663,5} = 629 \text{ квар}$$

Результаты расчетов сводим в таблицу 2.5

Таблица 2.5 - Уточненное распределение $Q_{нбк}$ по ТП пропорционально $Q_{расч}$.

№ ТП	$Q_{pтп}$, квар	$Q_{pнбктп}$, квар	$Q_{факт нбктп}$, квар	$Q_{несктп}$, квар
1	2	3	4	5
ТП1, ТП2	1304,4	584	$4 \times 150 = 600$	704,4
ТП3, ТП4	953,6	427	$3 \times 150 = 450$	503,6
ТП5, ТП6	1405,5	629	$4 \times 150 = 600$	805,5
ИТОГО	3654,5	1640	1650	2013,5

2.5 Расчет электрических нагрузок на шинах 10 кВ

а) Определим потери мощности в цеховых трансформаторах:

Потери активной мощности в трансформаторе определяются по формуле:

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot K_3^2$$

Потери реактивной мощности в трансформаторе определяются по формуле:

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{xx} + \Delta Q_{кз} \cdot K_3^2 = \frac{I_{xx}}{100} \cdot S_{нт} + \frac{U_{кз}}{100} \cdot S_{нт} \cdot K_3^2$$

Выбираем трансформаторы ТМЗ-630-10/0,4

Паспортные данные:

$S_n = 630 \text{ кВА}$; $I_x = 3,2 \text{ А}$; $U_k = 5,5 \text{ В}$; $\Delta P_{xx} = 2,3 \text{ кВт}$; $\Delta P_{кз} = 8,5 \text{ кВт}$.

ТП1, ТП2: $K_3 = 0,81$; $N = 4$.

$\Delta P_T = 2,3 + 8,5 \cdot 0,81^2 = 7,8 \text{ кВт}$; $\Sigma \Delta P_T = 4 \cdot 7,8 = 31,2 \text{ кВт}$

$$\Delta Q_T = \frac{3,2}{100} \times 630 + \frac{5,5}{100} \times 630 \times 0,81^2 = 42,9 \text{ квар}; \Sigma \Delta Q_T = 4 \times 42,9 = 171,6 \text{ квар.}$$

ТПЗ, ТП4: $K_z = 0,8; N = 3.$

$$P_T = 2,3 + 8,5 \times 0,8^2 = 7,7 \text{ кВт}; \Sigma P_T = 3 \times 7,7 = 23,1 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = \frac{3,2}{100} \times 630 + \frac{5,5}{100} \times 630 \times 0,8^2 = 42,3 \text{ квар}; \Sigma \Delta Q_T = 3 \times 42,3 = 126,9 \text{ квар.}$$

ТП5, ТП6: $K_z = 0,86; N = 4.$

$$P_T = 2,3 + 8,5 \times 0,76^2 = 7,7 \text{ кВт}; \Sigma P_T = 4 \times 7,7 = 30,8 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = \frac{3,2}{100} \times 630 + \frac{5,5}{100} \times 630 \times 0,77^2 = 42,3 \text{ квар}; \Sigma \Delta Q_T = 4 \times 42,3 = 169,2 \text{ квар.}$$

Суммарные потери мощности:

$$\sum_1^{11} \Delta P_{mp} = 31,2 + 23,1 + 30,8 = 85,1 \text{ кВт}$$

$$\sum_1^{11} \Delta Q_m = 171,6 + 126,9 + 169,2 = 467,7 \text{ квар}$$

б) Определим расчетную мощность синхронных двигателей (СД):

Расчетная активная мощность СД определяется по формуле:

$$P_{p \text{ сд}} = P_{н \text{ сд}} \cdot K_z \cdot N$$

Расчетная реактивная мощность СД определяется по формуле:

$$Q_{p \text{ сд}} = P_{н \text{ сд}} \cdot K_z \cdot N \cdot \text{tg} \varphi$$

Исходные данные: $P_{н \text{ СД}} = 720 \text{ кВт}; \cos \varphi = 0,9; N_{\text{СД}} = 4; k_z = \beta = 0,85.$

Определим расчетные активные и реактивные мощности для СД:

$$P_{p \text{ сд}} = 720 \times 4 \times 0,85 = 2448 \text{ кВт};$$

$$Q_{p \text{ сд}} = 720 \times 4 \times 0,48 \times 0,85 = 1175 \text{ квар.}$$

в) Определение мощности высоковольтных батарей конденсаторов.

Составим уравнение баланса реактивной мощности на шинах 10 кВ:

$$Q_{\text{ВБК}} = Q_{p \text{ 0,4}} + \Sigma \Delta Q_{\text{тр}} + Q_{\text{рез}} - Q_{\text{э}} - Q_{\text{НБК}} - \Sigma Q_{\text{сд}}, \quad (2.11)$$

Резервная мощность:

$$Q_{\text{рез}} = 0,1 \cdot \Sigma Q_{\text{расч}} = 0,1 (Q_{p \text{ 0,4}} + \Sigma \Delta Q_{\text{тр}}) = 0,1 (3663,5 + 467,7) = 413,1 \text{ квар}$$

Мощность от энергосистемы:

$$Q_{\text{э}} = 0,23 \cdot \Sigma P_p = 0,23 (P_{p \text{ 0,4}} + \Sigma \Delta P_{\text{тр}} + P_{p \text{ сд}}) = 0,23 (5161,9 + 85,1 + 2448) = 1769,8 \text{ квар}$$

Из уравнения баланса реактивной мощности найдем $Q_{\text{ВБК}}$:

$$Q_{\text{ВБК}} = 3663,5 + 467,7 + 413,1 - 1769,8 - 1650 - 1175 = -50,5 \text{ квар}$$

Так как $Q_{\text{ВБК}} < 0$, то выбрать высоковольтные батареи конденсаторов не нужно

Таблица 2.6 - Расчет уточненной мощности по заводу

№№ТП, S _{ТП} , Q _{БК ТП}	№№ цеха	n	P _{n min} -P _{n max}	ΣP _н	Ки	Средняя мощность		n _э	K _м	Расчетные мощности			Кз
						P _{см} , кВт	Q _{см} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ТП1, ТП2 (4×630 кВА)	1	100	1-100	2500		750	562,5						
	4	30	10-40	700		210	243,6						
	8	8	40-100	560		364	273						
	15	20	5-28	280		84	85,7						
	13	20	0,5-14	100		50	44						
Силовая:		178	1-100	4140	0,4	1458	1208,8	83	1,12	1633,0	1208,8		
Освещение:										136,6	68,3		
Q _{НБК}											-600,0		
Итого										1769,6	677,1	1894,7	0,75
ТП3, ТП4 (3×630 кВА)	3	41	1,5-22	155,9		62,3	54,9						
	7	30	1-28	550		220	193,6						
	9	60	1-20	1720		516	454,1						
	10	10	1-10	60		24	21,1						
	12	8	10-20	100		65	48,8						
	11	8	1-10	50		15	11,3						
Силовая:		157	1-28	2635,9	0,3	902,3	783,8	157	1,1	992,5	783,8		
Освещение:										180	90,0		
Освещение территории										144	71,9		
Q _{НБК}											-450		
Итого										1172,3	495,7	1272,8	0,7

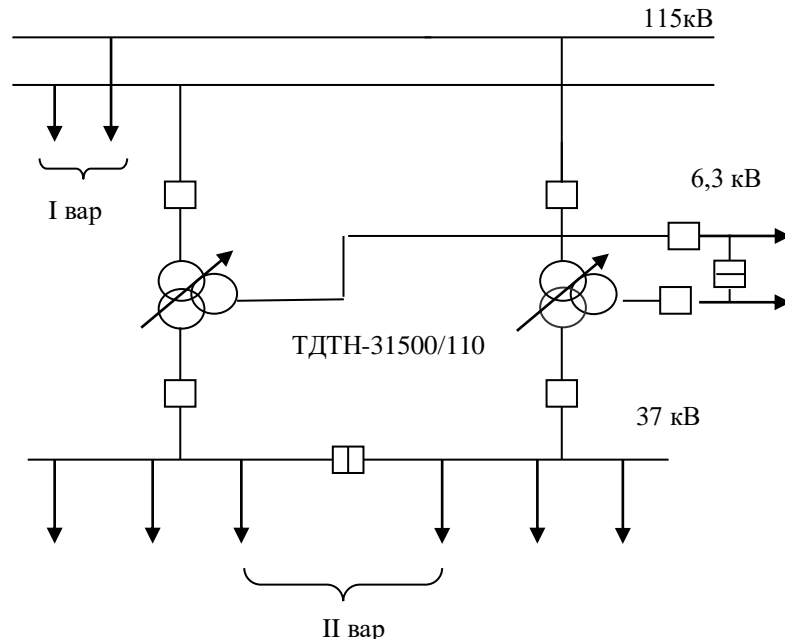
(продолжение) таблицы 2.6

0)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ТП5, ТП6	2	50	10-80	950		332,5	249,4						
(4×630 кВА)	5	40	3-40	1200		420	428,4						
	6	50	1-50	1400		490	499,8						
	14	30	1-40	320		160	140,8						
Силовая:		170	80	3870	0,4	1402,5	1318,4	97	1,11	1556,8	1318,4		
Освещение:										174,3	87,2		
Q _{нБК}											-600		
Итого										1731,1	805,6	1909,4	0,76
Итого на шинах 0,4 кВ										4673,0	1978,4		
ΣΔP _T , ΣΔQ _T										85,1	467,7		
Нагрузка 0,4 кВ, приведенная к шинам 10 кВ.										4758,1	2446,1		
Компрессорная	12	4	720	2880						2448	-1175		
Всего по заводу										7206,1	1271,1	7317,3	

2.6 Сравнение вариантов внешнего электроснабжения

Питание может быть осуществлено от подстанции энергосистемы, на которой установлены два трёхобмоточных трансформатора мощностью по 31,5 МВА, напряжением 115/37/6,3 кВ. Мощность системы 600 МВА, реактивное сопротивление системы на стороне 115 кВ, отнесенное к мощности системы, 0,2.



I вар: 115кВ
 II вар: 37кВ
 III вар: 6,3 кВ

Рисунок 2.1 - Схема подстанции энергосистемы
I вариант

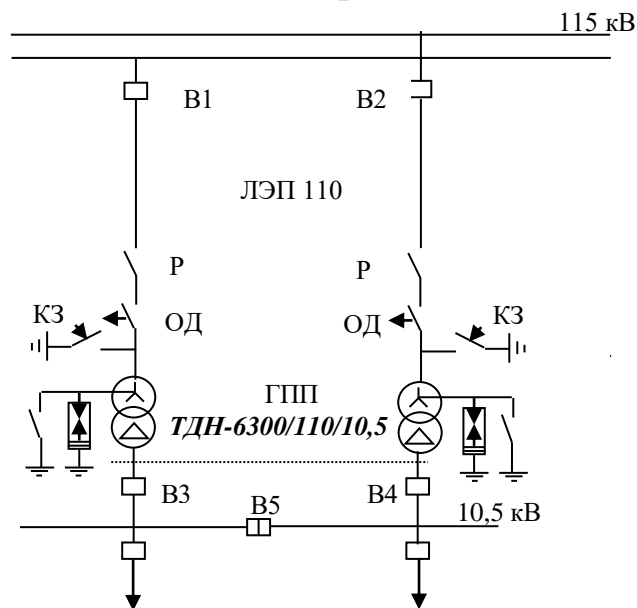


Рисунок 2.2 - Первый вариант

1) Выбираем трансформаторы ГПП:

$$S_{p_{тр\ гпп}} = \sqrt{P_p^2 + Q_{\Sigma}^2} = \sqrt{7206,1^2 + 1769,8^2} = 7420,2 \text{ кВА}$$

$$\text{Принимаем трансформаторы } 2 \times 6300 \text{ кВА: } K_3 = \frac{S_{p_{гпп}}}{2 \cdot S_{нтр}} = \frac{7420,2}{2 \cdot 6300} = 0,6$$

ТМН-6300/110

$S_{н\ тр} = 6300 \text{ кВА; } K_3 = 0,6$

Паспортные данные трансформаторов: $S_{н} = 6,3 \text{ кВА; } U_{вн} = 110 \text{ кВ; } U_{нн} = 11 \text{ кВ;}$
 $\Delta P_{хх} = 16,5 \text{ кВт; } \Delta P_{кз} = 45 \text{ кВт; } U_{кз} = 10,5\%; I_{хх} = 1\%.$

Рассчитаем потери мощности в этих трансформаторах:

$$\Delta P_{тр\ гпп} = 2(\Delta P_{хх} + \Delta P_{кз} \cdot K_3^2) = 2(16,5 + 45 \times 0,6^2) = 65,4 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{тр\ гпп} = 2\left(\frac{I_{хх}}{100} \times S_{нтр} + \frac{U_{кз}}{100} \times S_{н} \times K_3^2\right) = 2\left(\frac{1}{100} \times 6300 + \frac{10,5}{100} \times 6300 \times 0,6^2\right) = 602 \text{ квар}$$

Найдем потери электроэнергии в трансформаторах ГПП:

Число часов включения $T_{вкл} = 4000 \text{ ч}$ и число часов использования максимума активной нагрузки $T_{м} = 4000 \text{ ч}$

$$\Delta W_{тр\ гпп} = 2(\Delta P_{хх} \times T_{вкл} + \Delta P_{кз} \times \square \times K_3^2),$$

$$\text{где } \square = \left(0,124 + \frac{T_{м}}{10000}\right)^2 \times 8760 = 2405 \text{ ч - время максимальных потерь}$$

$$\Delta W_{тр\ гпп} = 2(16,5 \times 4000 + 45 \times 2405 \times 0,6^2) = 209922 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

2) Выберем сечение ЛЭП-110 кВ:

Определим мощность, проходящую по ЛЭП:

$$S_{лэп} = \sqrt{(P_p + \Delta P_{тр\ гпп})^2 + Q_{\Sigma}^2} = \sqrt{(7206,1 + 65,4)^2 + 1769,8^2} = 7483,7 \text{ кВА}$$

$$\text{Расчетный ток одной линии: } I_p = \frac{S_p}{2\sqrt{3}U_{н}} = \frac{7483,7}{2\sqrt{3} \cdot 115} = 18,5 \text{ А}$$

$$\text{Аварийный ток: } I_{ав} = 2 \times I_p = 2 \times 18,5 = 37 \text{ А}$$

а) Определим сечение по экономической плотности тока:

$$F_{\Sigma} = I_p / J_{\Sigma} = 18,5 / 1,1 = 17 \text{ мм}^2, \text{ где } J_{\Sigma} = 1,1 \text{ А/мм}^2 \text{ (Al, } T_{м} = 4000 \text{ ч)}$$

Выбираем провод сечением 25 мм^2

б) По условию потерь на корону для ВЛ-110 кВ сечение должно быть не менее 70 мм^2 .

Принимаем провод АС-70 с $I_{доп} = 265 \text{ А}$

в) Проверим провод по рабочему току: $I_{доп\ пров} \geq I_p$ ($265 \text{ А} > 18,5 \text{ А}$)

г) Проверим провод по аварийному режиму: $I_{доп\ ав} \geq I_{ав}$, ($344,5 \text{ А} > 37 \text{ А}$),

где $I_{доп\ ав} = 1,3 \times I_{доп} = 1,3 \times 265 = 344,5 \text{ А}$

Определим потери электроэнергии в ЛЭП-110 кВ:

$$\Delta W_{лэп} = 2(3I_p^2 \times R \times 10^{-3} \times \square) = 2 \times 3 \times 18,5^2 \times 2,21 \times 10^{-3} \times 2405 = 10420 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$R = r_0 \times l = 0,48 \times 4,6 = 2,21 \text{ Ом,}$$

Для выбора оборудования рассчитаем ток короткого замыкания.

Составим схему замещения:

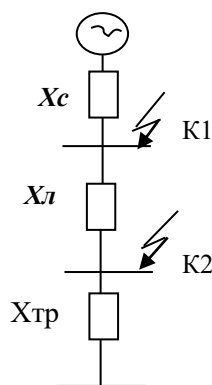


Рисунок 2.3 – Схема замещения

$$S_б = 100 \text{ МВА}$$

$$U_б = 115 \text{ кВ,}$$

$$X_c = 0,2 \text{ о.е.}$$

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3}U_б} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,5 \text{ кА}$$

Сопротивление ЛЭП:

$$X_{лэп} = X_0 \times l \times S_б / U_{ср}^2 = 0,34 \times 4,6 \times 100 / 115^2 = 0,01 \text{ о.е.}$$

Действующее значение тока кз в точке К1: $I_{к1} = \frac{I_б}{X_c} = 0,5 / 0,2 = 2,5 \text{ кА}$

Ударный ток кз: $i_{уд1} = \sqrt{2} K_{уд} \times I_{к1} = \sqrt{2} \times 1,8 \times 2,5 = 6,4 \text{ кА}$

Мощность кз в точке К1: $S_{к1} = \sqrt{3} U_б \times I_{к1} = \sqrt{3} \times 115 \times 2,5 = 497 \text{ МВА}$

Действующее значение тока кз в точке К2: $I_{к2} = \frac{I_б}{X_c + X_{лэп}} = 0,5 / (0,2 + 0,01) = 2,4 \text{ кА}$

Ударный ток кз: $i_{уд2} = \sqrt{2} K_{уд} \times I_{к2} = \sqrt{2} \times 1,8 \times 2,4 = 6,1 \text{ кА}$

Мощность кз в точке К2: $S_{к2} = \sqrt{3} U_б \times I_{к2} = \sqrt{3} \times 115 \times 2,4 = 477 \text{ МВА}$

3) Выберем выключатели В1, В2:

Таблица 2.7 - Выбираем выключатели типа МКП-110-630-20У1

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
U _н =110 кВ	U _р =110 кВ	U _н ≥ U _р
I _н =630 А	I _{ав} =37,6 А	I _н ≥ I _{ав}
I _{откл} =20 кА	I _{к1} =2,5 кА	I _{откл} ≥ I _{к1}
I _{дин} =52 кА	i _{уд1} =6,4 кА	I _{дин} ≥ i _{уд1}

4) Выберем разъединители 110 кВ:

Таблица 2.8 - Выбираем разъединители типа РНД32-СК-110/1000 У1

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_H=110$ кВ $I_H=1000$ А Искв.ампл.=80 кА $I_{пред.терм.ст.}=31,5$ кА	$U_p=110$ кВ $I_{ав}=37,6$ А $i_{уд2}=6,1$ кА $I_{к2}=2,4$ кА	$U_H \geq U_p$ $I_H \geq I_{ав}$ Искв.ампл. $\geq i_{уд2}$ $I_{пред.терм.ст.} \geq I_{к2}$

5) Выберем отделители 110 кВ:

Таблица 2.9 - Выбираем отделители типа ОД-110/1000 УХЛ1

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_H=110$ кВ $I_H=1000$ А Искв.ампл.=80 кА $I_{пред.терм.ст.}=31,5$ кА	$U_p=110$ кВ $I_{ав}=37,6$ А $i_{уд2}=6,1$ кА $I_{к2}=2,4$ кА	$U_H \geq U_p$ $I_H \geq I_{ав}$ Искв.ампл. $\geq i_{уд2}$ $I_{пред.терм.ст.} \geq I_{к2}$

6) Выберем короткозамыкатели 110 кВ:

Таблица 2.10 - Выбираем короткозамыкатели типа КЗ-110УХЛ1

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_H=110$ кВ Искв.ампл.=51 кА $I_{пред.терм.ст.}=20$ кА	$U_p=110$ кВ $i_{уд2}=6,1$ кА $I_{к2}=2,4$ кА	$U_H \geq U_p$ Искв.ампл. $\geq i_{уд2}$ $I_{пред.терм.ст.} \geq I_{к2}$

Определим капитальные затраты на выбранное оборудование:

1) Затраты на трансформаторы ГПП:

$$K_{тр гпп}=2 \times 36,8=73,6 \text{ тыс. у.е.}$$

2) Затраты на ЛЭП-110 кВ:

$$K_{лэп110}=1 \times K_{лэп}=4,6 \times 13,5=62,1 \text{ тыс.у.е.}$$

3) Затраты на выключатели В1,В2:

$$K_{В1,В2}=2 \times 16,24=32,48 \text{ тыс.у.е.}$$

4) Затраты на разъединители, отделители, короткозамыкатели и 3 разрядника РВС:

$$K_{ввод}=2 \times 4,76=9,52 \text{ тыс.у.е.}$$

Суммарные затраты:

$$\Sigma K_I = K_{тр гпп} + K_{лэп110} + K_{В1,В2} + K_{ввод} = 73,6 + 62,1 + 32,48 + 9,52 = 177,7 \text{ тыс.у.е.}$$

Суммарные издержки рассчитываются по формуле: $\Sigma I_I = I_{а} + I_{пот} + I_{э}$, у.е.

Амортизационные отчисления I_a : $I_a = E_a \cdot K$

Для ВЛ-110 кВ на железобетонных опорах $E_a=0,028$

Для распреустройств и подстанций $E_a=0,063$

Амортизационные отчисления на оборудование:

$$I_a \text{ обор.} = E_a \text{ обор.} \times \Sigma K_{обор.} = E_a \text{ обор.} \times (K_{тр} + K_{в} + K_{ввод}) = 0,063 \times 115,6 = 7,28 \text{ тыс.у.е.}$$

Амортизационные отчисления на ЛЭП:

$$I_{\text{а лэп}} = E_{\text{а лэп}} \times K_{\text{лэп}} = 0,028 \times 62,1 = 1,73 \text{ тыс. у.е.}$$

Издержки на эксплуатацию оборудования:

$$I_{\text{экспл.обор.}} = E_{\text{экспл.обор.}} \times \Sigma K_{\text{обор.}} = 0,03 \times 115,6 = 3,46 \text{ тыс. у.е.}$$

Издержки на эксплуатацию ЛЭП:

$$I_{\text{экспл.лэп}} = E_{\text{экспл.лэп}} \cdot K_{\text{лэп}} = 0,028 \times 62,1 = 1,73 \text{ тыс. у.е.}$$

Стоимость потерь электроэнергии $C_0 = 0,03 \text{ у.е./кВт} \cdot \text{ч}$

Определим издержки на потери электроэнергии:

$$I_{\text{пот}} = C_0 (\Delta W_{\text{тр гпп}} + \Delta W_{\text{лэп110}}) = 0,03 (209922 + 10420) = 6,61 \text{ тыс. у.е.}$$

Определим суммарные издержки:

$$\Sigma I_{\text{г}} = I_{\text{а обор.}} + I_{\text{экспл.обор.}} + I_{\text{а лэп}} + I_{\text{экспл.лэп}} + I_{\text{пот}} =$$

$$= 7,28 + 1,73 + 3,46 + 1,73 + 6,61 = 20,81 \text{ тыс. у.е.}$$

Приведенные затраты, являющиеся мерой стоимости, определяются по выражению: $Z_{\text{г}} = E \cdot K_{\text{г}} + I_{\text{г}}$,

где $E = 0,12$ - нормативный коэффициент эффективности капиталовложений

$$Z_{\text{г}} = 0,12 \times 177,7 + 20,81 = 41,13 \text{ тыс. у.е.}$$

Вариант II

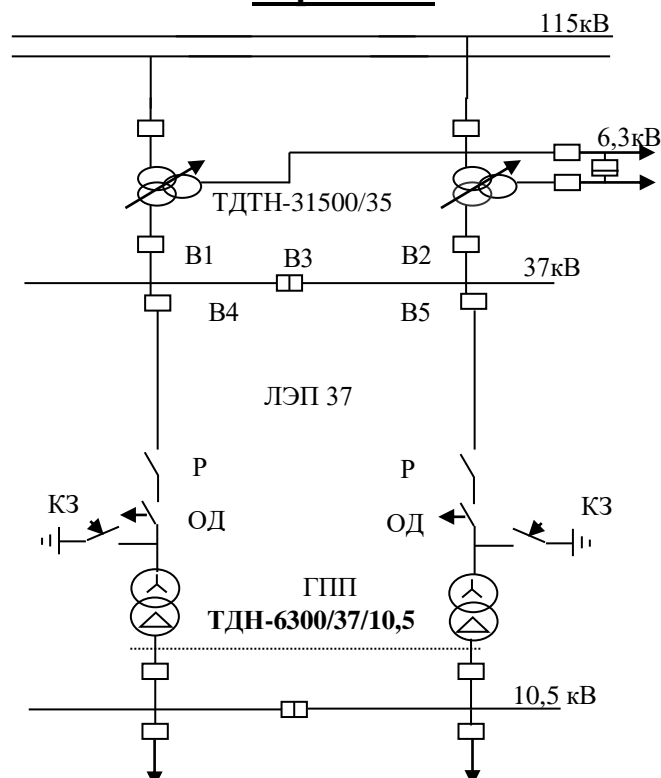


Рисунок 2.4 – Второй вариант

Приведенные суммарные затраты определяются по выражению: $Z_{\text{II}} = E \cdot K_{\text{II}} + I_{\text{II}}$

Суммарные затраты:

$$K_{\text{II}} = K_{\text{тр гпп}} + K_{\text{лэп37}} + K_{\text{B4, B5}} + K_{\text{р}} + K_{\text{од}} + K_{\text{кз}} + \gamma_1 \cdot K_{\text{тр эн. сист.}} + \gamma_2 \cdot K_{\text{B1, B2}} + \gamma_3 \cdot K_{\text{B3}}$$

Суммарные издержки: $I_{\text{II}} = I_{\text{а}} + I_{\text{экспл}} + I_{\text{пот}}$

1) Выберем трансформаторы ГПП:

Выбираем два трансформатора типа ТМН-6300/35

$S_{н\text{ тр}}=6300\text{ кВА}; K_3=0,64$

Паспортные данные трансформаторов: $S_{н}=6300\text{ кВА}; U_{вн}=35\text{кВ}; U_{нн}=11\text{ кВ};$
 $\Delta P_{хх}=10,4\text{ кВт}; \Delta P_{кз}=56,5\text{ кВт}; U_{кз}=7,5\%; I_{хх}=0,9\%.$

Рассчитаем потери мощности в этих трансформаторах:

$$\Delta P_{\text{тр гпп}}=2(\Delta P_{хх}+\Delta P_{кз}\times K_3^2)=2(10,4+56,5\times 0,6^2)=61,5\text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{\text{тр гпп}}=2\left(\frac{I_{хх}}{100}\times S_{н\text{т}}+\frac{U_{кз}}{100}\times S_{н}\times K_3^2\right)=2\left(\frac{0,9}{100}\times 6300+\frac{7,5}{100}\times 6300\times 0,6^2\right)=453,6\text{ квар}$$

Найдем потери электроэнергии в трансформаторах ГПП:

$$\Delta W_{\text{тр гпп}}=2(\Delta P_{хх}\times T_{\text{вкл}}+\Delta P_{кз}\times \square\times K_3^2), \text{ где } \square=2405\text{ ч}$$

$$\Delta W_{\text{тр гпп}}=2(10,4\times 4000+56,5\times 2405\times 0,6^2)=191035\text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

2) Выберем сечение ЛЭП-35 кВ:

Определим мощность, проходящую по ЛЭП:

$$S_{\text{лэп}}=\sqrt{(P_p+\Delta P_{\text{тр гпп}})^2+Q_{\text{э}}^2}=\sqrt{(7206,1+61,5)^2+1769,8^2}=7479,9\text{ кВА}$$

$$\text{Расчетный ток одной линии: } I_p=\frac{S_{\text{лэп}}}{2\sqrt{3}U_n}=\frac{7479,9}{2\sqrt{3}\cdot 37}=61,7\text{ А}$$

$$\text{Аварийный ток: } I_{\text{ав}}=2\times I_p=2\times 61,7=123,4\text{ А}$$

а) Определим сечение по экономической плотности тока:

$$F_{\text{э}}=I_p/J_{\text{э}}=61,7/1,1=56\text{ мм}^2, \text{ где } J_{\text{э}}=1,1\text{ А/мм}^2$$

Выбираем провод сечением 70 мм^2 ($I_{\text{доп}}=265\text{ А}$)

б) По условию потерь на корону для ВЛ-35 кВ сечение должно быть не менее 70 мм^2 .

Принимаем провод АС-70 с $I_{\text{доп}}=265\text{ А}$

в) Проверим провод по пропускной способности: $I_{\text{доп пров}}\geq I_p$ ($265\text{ А}>61,7\text{ А}$)

г) Проверим провод по аварийному режиму: $I_{\text{доп ав}}\geq I_{\text{ав}}$,

$$\text{где } I_{\text{доп ав}}=1,3\times I_{\text{доп}}=1,3\times 265=344,5\text{ А}, (344,5\text{ А}>123,4\text{ А})$$

Определим потери электроэнергии в ЛЭП-35 кВ:

$$\Delta W_{\text{лэп}}=2(3I_p^2\times R\times 10^{-3}\times \square)=2\times 3\times 61,7^2\times 2,21\times 10^{-3}\times 2405=122402\text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

$$R=r_0\times l=0,48\times 4,6=2,21\text{ Ом.}$$

3) Выберем трансформаторы энергосистемы:

Выбираем два трансформатора типа ТДТН-31500/110/37/6,3

Паспортные данные трансформаторов:

$S_{н}=31500\text{ кВА}$

$U_{вн}=115\text{ кВ}$ $\Delta P_{хх}=63\text{ кВт}$ $U_{кв-н}=17\%;$

$U_{сн}=38,5\text{ кВ}$ $\Delta P_{кз}=230\text{ кВт}$ $U_{кв-сн}=6\%;$

$U_{нн}=11\text{ кВ}$ $U_{кв-сн}=10,5\%;$

Найдем γ_1 -коэффициент долевого участия проектируемого завода в мощности

$$\text{трансформаторов энергосистемы: } \gamma_1=\frac{S_{\text{лэп}_{35}}}{2*S_{\text{номтр}}}=\frac{7479,9}{2\times 31500}=0,25$$

4) Выбираем выключатели, разъединители, отделители, короткозамкатели на напряжение 35 кВ:

Для выбора оборудования рассчитаем ток кз:

Составим схему замещения:

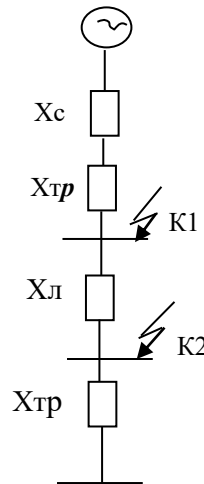


Рисунок 2.5 – Схема замещения

$$S_б = 100 \text{ МВА}$$

$$U_б = 37 \text{ кВ,}$$

$$X_c = 0,2 \text{ о.е.}$$

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3}U_б} = 1,5 \text{ кА}$$

$$X_{л\text{эп}} = X_0 \times l \times S_б / U_{cp}^2 = 0,32 \times 4,6 \times 100 / 37^2 = 0,11 \text{ о.е.}$$

$$X_{тр \text{ сист}} = U_{в-с} \times S_б / 100 \times S_{н \text{ тр}} = 10,5 \times 100 / 100 \times 31,5 = 0,33 \text{ о.е.}$$

Рассчитаем действующее значение тока кз в точке К1:

$$I_{к1} = \frac{I_б}{X_c + X_{тр}} = \frac{1,5}{0,2 + 0,33} = 2,8 \text{ кА}$$

$$\text{Ударный ток кз: } i_{уд1} = \sqrt{2} K_{уд} \times I_{к1} = \sqrt{2} \times 1,8 \times 2,8 = 7,1 \text{ кА}$$

$$\text{Мощность кз в точке К1: } S_{к1} = \sqrt{3} U_б \times I_{к1} = \sqrt{3} \times 37 \times 2,8 = 179 \text{ МВА}$$

Действующее значение тока кз в точке К2:

$$I_{к2} = \frac{I_б}{X_c + X_{тр} + X_{л\text{эп}}} = \frac{1,5}{0,2 + 0,33 + 0,11} = 2,3 \text{ кА}$$

$$\text{Ударный ток кз: } i_{уд2} = \sqrt{2} K_{уд} \times I_{к2} = \sqrt{2} \times 1,8 \times 2,3 = 5,9 \text{ кА}$$

$$\text{Мощность кз в точке К2: } S_{к2} = \sqrt{3} U_б \times I_{к2} = \sqrt{3} \times 37 \times 2,3 = 147 \text{ МВА}$$

Выключатели В1, В2 выбираем по аварийному току трансформаторов системы.

Найдем ток, проходящий через выключатели В1 и В2:

$$I_{авВ1,В2} = \frac{S_{автр}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{2 \cdot 15,75 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 37} = 492 \text{ А}$$

Таблица 2.11 - Выбираем выключатели В1,В2 типа МКП-35-630-10 У1

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_n=35$ кВ $I_n=630$ А $I_{откл}=10$ кА $I_{дин}=20$ кА	$U_p=35$ кВ $I_{ав\text{тр сист}}=492$ А $I_{к1}=2,8$ кА $i_{уд1}=7,1$ кА	$U_n \geq U_p$ $I_n \geq I_{ав\text{тр сист}}$ $I_{откл} \geq I_{к1}$ $I_{дин} \geq i_{уд1}$

Секционный выключатель В3 выбираем по току в 2 раза меньше аварийного.

Найдем ток, проходящий через выключатель В3: $I_{В3} = \frac{I_{ав}}{2} = \frac{492}{2} = 246$ А

Таблица 2.12 - Выбираем выключатель типа МКП-35-630-10 У1

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_n=35$ кВ $I_n=630$ А $I_{откл}=10$ кА $I_{дин}=20$ кА	$U_p=35$ кВ $I_{ав\text{тр сист}}=246$ А $I_{к1}=2,8$ кА $i_{уд1}=7,1$ кА	$U_n \geq U_p$ $I_n \geq I_{ав\text{тр сист}}$ $I_{откл} \geq I_{к1}$ $I_{дин} \geq i_{уд1}$

Коэффициенты долевого участия:

$$\gamma_{2В1,В2} = \frac{I_{авзав}}{I_{номвыкл}} = \frac{118,8}{630} = 0,3; \quad \gamma_{3В3} = \frac{I_{рзав}}{I_{номв3}} = \frac{59,4}{630} = 0,2$$

Выключатели В4,В5 выбираем по аварийному току завода, $I_{ав зав}=371$ А

Таблица 2.13 - Выбираем выключатели типа МКП-35-630

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_n=35$ кВ $I_n=630$ А $I_{откл}=10$ кА $I_{дин}=20$ кА	$U_p=35$ кВ $I_{авзав}=118,8$ А $I_{к1}=2,8$ кА $i_{уд1}=7,1$ кА	$U_n \geq U_p$ $I_n \geq I_{авзав}$ $I_{откл} \geq I_{к1}$ $I_{дин} \geq i_{уд1}$

Таблица 2.14 - Выбираем разъединители типа РНДЗ-2-35/1000У1

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_n=35$ кВ $I_n=1000$ А $I_{скв.ампл.}=63$ кА $I_{пред.терм. ст.}=25$ кА	$U_p=35$ кВ $I_{ав}=118,8$ А $i_{уд2}=5,9$ кА $I_{к2}=2,3$ кА	$U_n \geq U_p$ $I_n \geq I_{ав}$ $I_{скв.ампл.} \geq i_{уд2}$ $I_{пред.терм. ст.} \geq I_{к2}$

Таблица 2.15 - Выбираем отделители типа ОДЗ-35/630-У1

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_H=35$ кВ $I_H=630$ А Искв.ампл.=80 кА $I_{пред.терм.ст.}=12,5$ кА	$U_p=35$ кВ $I_{ав}=118,8$ А $i_{уд2}=5,9$ кА $I_{к2}=2,3$ кА	$U_H \geq U_p$ $I_H \geq I_{ав}$ $Искв.ампл. \geq i_{уд2}$ $I_{пред.терм.ст} \geq I_{к2}$

Таблица 2.16 - Выбираем короткозамыкатели типа КЗ-35-УХЛ1

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_H=35$ кВ Искв.ампл.=51 кА $I_{пред.терм.ст.}=12,5$ кА	$U_p=35$ кВ $i_{уд2}=5,9$ кА $I_{к2}=2,3$ кА	$U_H \geq U_p$ $Искв.ампл. \geq i_{уд2}$ $I_{пред.терм.ст} \geq I_{к2}$

Определим капитальные затраты на выбранное оборудование:

1) Затраты на трансформаторы ГПП:

$$K_{тр гпп}=2 \times 21=42 \text{ тыс. у.е.}$$

2) Затраты на ЛЭП-35 кВ:

$$K_{лэп35}=1 \times K_{лэп}=4,6 \times 12,4=57,04 \text{ тыс.у.е.}$$

3) Затраты на выключатели В4, В5:

$$K_{В4,В5}=2 \times 5,54=11,08 \text{ тыс.у.е.}$$

4) Затраты на разъединители, отделители, короткозамыкатели и 3 разрядника РВС:

$$K_{ввод}=2 \times 5,18=10,36 \text{ тыс.у.е.}$$

5) Затраты на трансформаторы системы:

$$K_{тр сист}=\gamma_1 \times 2 \times K_{тр}=0,25 \times 2 \times 107,2=53,6 \text{ тыс.у.е.}$$

6) Затраты на выключатели В1, В2:

$$K_{В1,В2}=\gamma_2 \times 2 \times K_{В1,В2}=0,3 \times 2 \times 5,54=3,32 \text{ тыс.у.е.}$$

7) Затраты на выключатель В3:

$$K_{В3}=\gamma_3 \times K_{В3}=0,2 \times 5,54=1,11 \text{ тыс.у.е.}$$

Суммарные затраты:

$$\Sigma K_{II} = K_{тр гпп} + K_{лэп35} + K_{В4,В5} + K_{ввода} + K_{тр сист} + K_{В1,В2} + K_{В3} = 42 + 57,04 + 11,08 + 10,36 + 53,6 + 3,32 + 1,11 = 178,51 \text{ тыс.у.е.}$$

Суммарные издержки рассчитываются по формуле: $\Sigma И_{II} = И_{а} + И_{пот} + И_{э}$, у.е.

Амортизационные отчисления $И_{а}$: $И_{а} = E_{а} \cdot K$

Для ВЛ-35 кВ на железобетонных опорах $E_{а} = 0,028$

Для распределустройств и подстанций $E_{а} = 0,063$

Амортизационные отчисления на оборудование:

$$И_{а обор.} = E_{а обор.} \times \Sigma K_{обор.} = 0,063 \times 121,47 = 6,88 \text{ тыс.у.е.}$$

Амортизационные отчисления на ЛЭП:

$$И_{а лэп} = E_{а лэп} \times K_{лэп} = 0,028 \times 57,04 = 1,6 \text{ тыс.у.е.}$$

Издержки на эксплуатацию оборудования:

Иэкспл.обор.=Еэкспл.обор. ×ΣКобор.=0,03×121,47=3,28 тыс.у.е.

Издержки на эксплуатацию ЛЭП:

Иэкспл.лэп=Еэкспл.лэп· Клэп=0,028×57,04=1,6 тыс.у.е.

Стоимость потерь электроэнергии $C_0=0,03$ у.е./кВт·ч

Определим суммарные издержки:

$\Sigma I_{II} = I_{a \text{ обор.}} + I_{\text{экспл.обор.}} + I_{a \text{ лэп}} + I_{\text{экспл.лэп}} + I_{\text{пот}} =$

$=6,88+1,6+3,28+1,6+9,1=22,46$ тыс.у.е.

Приведенные затраты, являющиеся мерой стоимости, определяются по выражению: $Z_{II} = E \cdot K_{II} + I_{II}$,

где $E=0,12$ -нормативный коэф-т эффективности капиталовложений

$Z_{II}=0,12 \times 178,51 + 22,46 = 42,42$ тыс.у.е.

Таблица 2.20 – Сравнение вариантов электроснабжения

Варианты	Uн, кВ	KΣ, тыс.у.е.	IΣ, тыс.у.е.	ZΣ, тыс.у.е.
I	115	177,7	20,81	41,13
II	37	166,3	22,46	42,42

Вывод: проходит I вариант, так как он имеет минимальные издержки на потери.

3 Выбор оборудования и расчет токов короткого замыкания U=10кВ

Для выбора оборудования необходимо произвести расчет ТКЗ на шинах ГПП предприятия.

Расчет токов короткого замыкания $I_{кз}$ (U=10,5 кВ) с учетом подпитки от СД.

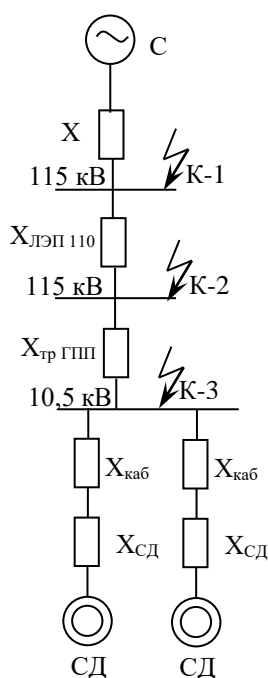


Рисунок 3.1 – Схема замещения

$$S_6 = 100 \text{ МВА};$$

$$x_c = 0,2;$$

$$U_6 = 10,5 \text{ кВ};$$

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \times U_H} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 10,5} = 5,5 \text{ кА};$$

$$X_{\text{ЛЭП}} = X_0 \times l \times S_6 / U_{\text{ср}}^2 = 0,34 \times 4,6 \times 100 / 115^2 = 0,01 \text{ о.е.}$$

$$X_{\text{тр ГПП}} = U_B \times S_6 / 100 \times S_H \text{ тр} = 10,5 \times 100 / 100 \times 6,3 = 1,68 \text{ о.е.}$$

Токи КЗ в точке К-1, К-2 рассчитаны выше, то остается рассчитать токи в точках К-3 с учетом подпитки СД.

$$I'_{\text{К-3}} = \frac{I_6}{x_c + X_{\text{ЛЭП}} + X_{\text{тр.ГПП}}} = \frac{5,5}{0,2 + 0,01 + 1,68} = 2,9 \text{ кА.}$$

Рассчитаем ток от СД:

$$\text{Исходные данные: } P_{\text{НСД}} = 720 \text{ кВт}; \cos \varphi = 0,9; N_{\text{СД}} = 4; k_3 = 0,85.$$

$$S_{\text{НСД}} = \frac{P_{\text{НСД}}}{\cos \varphi} = \frac{720}{0,9} = 800 \text{ кВА}; \quad I_{\text{СД}} = \frac{S_{\text{НСД}} \times K_3}{\sqrt{3} \times U} = \frac{800 \times 0,85}{\sqrt{3} \times 10,5} = 37,4 \text{ А};$$

Выбираем кабель к СД:

$$\text{а) по экономической плотности тока: } F_3 = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}} = \frac{37,4}{1,4} = 26,7 \text{ мм}^2.$$

$$\text{б) по минимальному сечению: } F_{\text{min}} = I_{\text{КЗ}} \sqrt{t_{\text{привед}}} = 12 \times 2,9 \times \sqrt{0,6} = 26,9 \text{ мм}^2.$$

Принимаем кабель маркой ААШВ-10-(3×50), $I_{\text{доп}} = 140 > 37,4 \text{ А.}$

Данные кабеля: $r_0 = 0,35 \text{ Ом/км}; x_0 = 0,06 \text{ Ом/км.}$

$$x_{\text{каб.кСД}} = \frac{x_0 \times L \times S_6}{2 \times U_{\text{ср}}^2} = \frac{0,06 \times 0,03 \times 100}{2 \times 10,5^2} = 0,07 \text{ о.е.}$$

$$x_{\text{сд}} = \frac{x'_d \times S_6}{\sum S_{\text{НСД}}} = \frac{0,2 \times 100}{2 \times 0,8} = 12,5 \text{ о.е.}$$

$$\text{Тогда ток от двигателей будет равен: } I_{\text{кзСД}} = \frac{E_{\text{СД}} \times I_6}{x_{\text{экв.}}} = \frac{1,048 \times 5,5}{0,07 + 12,5} = 0,4 \text{ кА.}$$

$$\text{Где } E_{\text{СД}} = E''_H \times U_H / U_6 = 1,1 \times 10 / 10,5 = 1,048$$

Суммарный ток КЗ в точке К-3 на шинах 10 кВ с учетом подпитки от двигателей будет равен: $\sum I_{\text{КЗ}} = I'_{\text{К-3}} + \sum I_{\text{ΣКЗ СД}} = 2,9 + 0,4 = 3,3 \text{ кА.}$

$$\text{Ударный ток в точке К-3: } i_{\text{удЗ}} = K_{\text{уд}} \times \sqrt{2} \times \sum I_{\text{КЗ}} = 1,8 \times \sqrt{2} \times 3,3 = 8,4 \text{ кА.}$$

Выбор оборудования.

1. Выбор выключателей.

- Выбор вводных и секционных выключателей:

$$S_{\text{р.}} = \sqrt{(P_{\text{р}} + \Delta P_{\text{р ГПП}})^2 + Q_{\text{Г}}^2} = \sqrt{(7206,1 + 65,4)^2 + 1769,8^2} = 7483,7 \text{ кВА};$$

$$I_{\text{ав}} = \frac{7483,7}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 411,8 \text{ А.}$$

Выбираем выключатель типа ВМПЭ-10-630-31,5 УЗ.

Секционный выключатель $I_p = \frac{I_{ав}}{2} = 411,8/2 = 205,9 \text{ А}$

Таблица 3.1 - Принимаем выключатель типа ВМПЭ-10-630-31,5 У2

	Вводные выключатели		Секционный выключатель	
	Расчетные	Паспортные	Расчетные	Паспортные
$U_H, \text{ кВ}$	10	10	10	10
$I_H, \text{ А}$	411,8	630	205,9	630
$I_{отк}, \text{ кА}$	3,3	31,5	3,3	31,5

Выбор выключателей отходящих линий:

1. Магистраль ГПП-ТП1-ТП2:

$$S_p = \sqrt{(1769,6 + 31,2)^2 + (677,1 + 171,6)^2} = 1990,7 \text{ кВА}; I_{ав} = \frac{1990,7}{\sqrt{3} \times 10,5} = 109,6 \text{ А};$$

Таблица 3.2 - Выбираем выключатель типа ВММ-10-400-10У2

Паспортные данные	Расчетные данные
$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U = 10 \text{ кВ}$
$I_H = 400 \text{ А}$	$I_{ав} = 109,6 \text{ А}$
$I_{откл} = 10 \text{ кА}$	$I_{кз} = 3,3 \text{ кА}$
$I_{скв} = 52 \text{ кА}$	$I_{уд} = 8,4 \text{ кА}$
$I^2 \times t = (10)^2 \times 4 = 400 \text{ кА}^2 \times \text{с}$	$B = (3,3)^2 \times 0,12 = 1,3 \text{ кА}^2 \times \text{с}$
Привод встроенный электромагнитный	

2. Магистраль ГПП-ТП3-ТП4:

$$S_p = \sqrt{(1172,3 + 23,1)^2 + (495,7 + 126,9)^2} = 1347,8 \text{ кВА}; I_{ав} = \frac{1347,8}{\sqrt{3} \times 10,5} = 74,2 \text{ А};$$

Таблица 3.3 - Выбираем выключатель типа ВММ-10-400-10У2

Паспортные данные	Расчетные данные
$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U = 10 \text{ кВ}$
$I_H = 400 \text{ А}$	$I_{ав} = 74,2 \text{ А}$
$I_{откл} = 10 \text{ кА}$	$I_{кз} = 3,3 \text{ кА}$
$I_{скв} = 52 \text{ кА}$	$I_{уд} = 8,4 \text{ кА}$
$I^2 \times t = (10)^2 \times 4 = 400 \text{ кА}^2 \times \text{с}$	$B = (3,3)^2 \times 0,12 = 1,3 \text{ кА}^2 \times \text{с}$
Привод встроенный электромагнитный	

3. Магистраль ГПП-ТП5-ТП6:

$$S_p = \sqrt{(1731,1 + 30,8)^2 + (805,6 + 169,2)^2} = 2013,5 \text{ кВА}; I_{ав} = \frac{2013,5}{\sqrt{3} \times 10,5} = 110,8 \text{ А};$$

Таблица 3.3 - Выбираем выключатель типа ВММ-10-400-10У2

Паспортные данные	Расчетные данные
$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U = 10 \text{ кВ}$
$I_H = 400 \text{ А}$	$I_{ав} = 110,8 \text{ А}$
$I_{откл} = 10 \text{ кА}$	$I_{кз} = 3,3 \text{ кА}$
$I_{скв} = 52 \text{ кА}$	$I_{уд} = 8,4 \text{ кА}$
$I^2 \times t = (10)^2 \times 4 = 400 \text{ кА}^2 \times \text{с}$	$B = (3,3)^2 \times 0,12 = 1,3 \text{ кА}^2 \times \text{с}$
Привод встроенный электромагнитный	

4. Выключатель к СД: $S_{нсд} = 800 \text{ кВА}; I_{сд} = 37,4 \text{ А}$

Таблица 3.4 - Выбираем выключатель типа ВММ-10-400-10У2

Паспортные данные	Расчетные данные
$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U = 10 \text{ кВ}$
$I_H = 400 \text{ А}$	$I_{ав} = 37,4 \text{ А}$
$I_{откл} = 10 \text{ кА}$	$I_{кз} = 3,3 \text{ кА}$
$I_{скв} = 52 \text{ кА}$	$I_{уд} = 8,4 \text{ кА}$
$I^2 \times t = (10)^2 \times 4 = 400 \text{ кА}^2 \times \text{с}$	$B = (3,3)^2 \times 0,12 = 1,3 \text{ кА}^2 \times \text{с}$
Привод встроенный электромагнитный	

Выбор трансформаторов тока.

Трансформаторы тока выбираются по следующим условиям:

1. по напряжению установки: $U_{ном \text{ ТТ}} \geq U_{ном \text{ уст-ки}}$;
2. по току: $I_{ном \text{ ТТ}} \geq I_{расч}$;
3. по электродинамической стойкости: $K_{дин} \geq \frac{i_{уд}}{\sqrt{2} \times I_{ном \text{ ТТ}}}$;
4. по вторичной нагрузке: $S_{н2} \geq S_{нагр \text{ расч}}$;
5. по термической стойкости: $K_{тс} = \frac{I_{об} \times \sqrt{t}}{I_{ном \text{ ТТ}} \times t_{нт}}$;
5. по конструкции и классу точности.

Таблица 3.5 - Выбор трансформаторов тока на вводе: $I_{ав} = 411,8 \text{ А}$

Прибор	Тип	А, ВА	В, ВА	С, ВА
А	Э-350	0,5	0,5	0,5
Wh	СА3-И681	2,5	2,5	2,5
Varh	СР4-И689	2,5	2,5	2,5
W	Д-355	0,5	-	0,5
Var	Д-395	0,5	-	0,5

Итого		6,5	5,5	6,5
-------	--	-----	-----	-----

Таблица 3.6 - Прием трансформатор тока ТЛ-10 УЗ: $I_n=600$ А; $S_n=20$ ВА.

Расчетные величины	По каталогу
$U_n=10$ кВ	$U_n=10$ кВ
$I_{ав}=411,8$ А	$I_n=600$ А
$i_{уд}=8,4$ кА	$I_{дин}=81$ кА
$S_{2p}=10,4$ ВА	$S_{2n}=20$ ВА

Рассчитаем вторичную нагрузку трансформаторов тока.

Сопротивление вторичной нагрузки состоит из сопротивления приборов, соединительных проводов и переходного сопротивления контактов:

$$R_2=R_{\text{приб}}+R_{\text{пров}}+R_{\text{к-тов}}$$

Сопротивление приборов определяется по формуле:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом}; \quad r_{2n} = \frac{S_{2нт}}{I_2^2} = \frac{20}{5^2} = 0,8 \text{ Ом}.$$

где $S_{\text{приб}}$ – мощность, потребляемая приборами;

I_2 – вторичный номинальный ток прибора.

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{\text{допр}} = r_{2n} - r_{\text{приб}} - r_{\text{кон}} = 0,8 - 0,26 - 0,1 = 0,44 \text{ Ом}.$$

$$q_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \times 5}{0,44} = 0,42 \text{ мм}^2; \quad \text{принимаем провод АКР ТВ; } F=2,5 \text{ мм}^2;$$

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{F} = \frac{0,028 \times 5}{2,5} = 0,056 \text{ Ом}; \quad S_2=R_2 \times I_2^2 = 0,416 \times 5^2=10,4 \text{ ВА};$$

$$\text{Где } R_2=R_{\text{приб}}+R_{\text{пров}}+R_{\text{к-тов}}=0,26+0,056+0,1=0,416 \text{ Ом}$$

Таблица 3.7 - Выбираем трансформатор тока на секционном выключателе шин ГПП:

$I_p=205,9$ А; ТЛМ-10-УЗ: $I_n=300$ А

Прибор	Тип	А, ВА	В, ВА	С, ВА
Амперметр	Э-380	0,5	0,5	0,5
Wh	САЗ-И681	2,5	2,5	0,5
Varh	СРУ-И689	2,5	2,5	0,5
Итого		5,5	0,5	0,5

Расчетные величины	По каталогу
$U_n=10$ кВ	$U_n=10$ кВ
$I_{ав}=205,9$ А	$I_n=300$ А
$i_{уд}=8,4$ кА	$I_{дин}=81$ кА
$S_{2p}=9,4$ ВА	$S_{2n}=10$ ВА

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{5,5}{5^2} = 0,22 \text{ Ом}; \quad r_{2\text{н-ка}} = \frac{S_{2\text{нтт}}}{I_2^2} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{доп}} = r_{2\text{н}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{кон}} = 0,4 - 0,22 - 0,1 = 0,08 \text{ Ом};$$

$$q_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \times 5}{0,08} = 1,75 \text{ мм}^2; \quad \text{принимает провод АКР ТВ; } F = 2,5 \text{ мм}^2;$$

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{F} = \frac{0,028 \times 5}{2,75} = 0,056 \text{ Ом}; \quad S_2 = R_2 \times I_2^2 = 0,376 \times 5^2 = 9,4 \text{ ВА};$$

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,22 + 0,056 + 0,1 = 0,376 \text{ Ом}.$$

**Таблица 3.8 - Трансформатор тока на линии ГПП-(ТП1-ТП2):
I_{ав}=109,6А;**

Расчетные величины	По каталогу
U _н =10 кВ	U _н =10 кВ
I _{ав} =109,6 А	I _н =200 А
i _{уд} =8,4 кА	I _{дин} =74,5 кА
S _{2р} =9,4 ВА	S _{2н} =10 ВА

примем трансформатор тока ТПЛК-10 У3: I_н=200 А; S_н=10ВА

Таблица 3.9 - Трансформатор тока на линии ГПП-(ТП3-ТП4): I_{ав}=74,2 А;

Расчетные величины	По каталогу
U _н =10 кВ	U _н =10 кВ
I _{ав} =74,2 А	I _н =100 А
i _{уд} =8,4 кА	I _{дин} =74,5 кА
S _{2р} =9,4 ВА	S _{2н} =10 ВА

примем трансформатор тока ТПЛК-10 У3: I_н=100 А; S_н=10ВА

**Таблица 3.10 - Трансформатор тока на линии ГПП-(ТП5-ТП6):
I_{ав}=110,8 А;**

Расчетные величины	По каталогу
U _н =10 кВ	U _н =10 кВ
I _{ав} =110,8 А	I _н =200 А
i _{уд} =8,4 кА	I _{дин} =74,5 кА
S _{2р} =9,4 ВА	S _{2н} =10 ВА

примем трансформатор тока ТПЛК-10 У3: I_н=200 А; S_н=10ВА

Таблица 3.11 - Трансформатор тока к СД: I_р=37,4А;

Расчетные величины	По каталогу
$U_H=10$ кВ	$U_H=10$ кВ
$I_{ав}=37,4$ А	$I_H=50$ А
$i_{уд}=8,4$ кА	$I_{дин}=74,5$ кА
$S_{2p}=9,4$ ВА	$S_{2H}=10$ ВА

примем трансформатор тока ТПЛК-10 УЗ: $I_H=50$ А; $S_H=10$ ВА

3. Трансформаторы напряжения выбираются по следующим условиям:

1. по напряжению установки: $U_{ном} \geq U_{уст}$;
2. по вторичной нагрузке: $S_{ном2} \geq S_{2расч}$;
3. по классу точности
4. по конструкции и схеме соединения

Таблица 3.12 - Выбор трансформаторов напряжения

Прибор	Тип	$S_{об-ки}$, ВА	Число об-к	$\cos \phi$	Число приборо в	$P_{общ}$, Вт	Q_{ϕ} , вар
V	Э-335	2	2	1	2	4	-
W	Д-335	1,5	2	1	1	3	-
Var	И-335	1,5	2	1	1	3	-
Wh	СА3-И681	3 Вт	2	0,38	7	42	102
Varh	СР4-И689	3 вар	2	0,38	7	42	102
Итого						84	204

Расчетная вторичная нагрузка: $S_{2p} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{84^2 + 204^2} = 220,6$ ВА.

Таблица 3.13 - Принимаем ТН типа НТМК -10-66-УЗ

$U_{HT}=10$ кВ	$U_{HT}=10$ кВ
$S_{H2}=500$ кВА	$S_{p2}=220,6$ ВА
Схема соединения обмоток $Y^o/Y^o/\Delta_1-0$	

4. Выбор силовых кабелей отходящих линий

Выбор кабелей производится по следующим условиям:

1. по экономической плотности тока: $F_{\gamma} = \frac{I_p}{\gamma}$;
2. по минимальному сечению $F_{min} = \alpha \times I_{кз} \times \sqrt{t_{п}}$;
3. по условию нагрева рабочим током $I_{доп каб} \geq I_p$;
4. по аварийному режиму $I_{доп ав} \geq I_{ав}$;

Выбираем кабель ГПП-ТП1-ТП2:

а) по экономической плотности тока: $F_{\gamma} = I_p / j_{эк} = 54,8 / 1,4 = 39,1$ мм².

Принимаем кабель маркой ААШВ-10-(3×50);

б) проверим выбранный кабель по термической стойкости к $I_{кз}$, найдем минимальное сечение кабеля по $I_{кз}$: $F_{min}=I_{кз}\sqrt{t_{привед}}=12 \times 3,3 \times \sqrt{0,6}=30,6 \text{ мм}^2$;
принимаем окончательно кабель ААШВ-10-(3×50);

в) проверка по аварийному току: $I_{доп ав}=1,3 \times 140=182 \text{ А} > \square 109,6 \text{ А}$.

Условия выполняются, тогда окончательно принимаем кабель марки ААШВ-10-(3×50)

Все расчетные данные выбора остальных кабелей занесены в таблицу 3.14 -Кабельный журнал

5. Выбор шин ГПП

Сечение шин выбирают по длительно допустимому току и экономической целесообразности. Проверку шин производят на электродинамическую и термическую стойкость к токам КЗ.

Выбираем твердотянутые алюминиевые шины прямоугольного сечения марки АТ-50х5; $I_{доп}=665 \text{ А}$ (одна полоса на фазу), $i_{уд}=8,4 \text{ кА}$

а) $I_{доп}=665 \text{ А} \square I_{ав}=411,8 \text{ А}$;

б) проверка по термической стойкости к $I_{кз}$:

$$F_{min}=I_{кз}\sqrt{t_{привед}}=123,3\sqrt{1}=39,6 \text{ мм}^2 < 250 \text{ мм}^2 (50 \times 5=250 \text{ мм}^2);$$

в) проверка по динамической стойкости к $i_{уд кз}$ $I_{доп}=650 \text{ кгс/см}^2$:

$$f = \frac{1,75 \times 10^{-2} \times i_{уд}^2 \times L}{a} = \frac{1,75 \times 10^{-2} \times 8,4^2 \times 50}{100} = 6,1 \text{ кгс}; \square$$

$$W=0,167bh^2=0,1670,85^2=3,34 \text{ см}^3$$

$$\sigma_{расч} = \frac{f \times L}{10 \times W} = \frac{6,1 \times 50}{10 \times 3,34} = 9,1 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} < 650 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}.$$

Где $L=50 \text{ см}$ -расстояние между изоляторами;

$a=100 \text{ см}$ -расстояние между фазами;

$b=0,8 \text{ см}$ -толщина одной полосы;

$h=5 \text{ см}$ -ширина (высота) шины.

Из условия видно, что шины динамически устойчивы.

□

6. Выбор изоляторов

Жесткие шины крепятся на опорных изоляторах, выбор которых производится по следующим условиям:

по номинальному напряжению: $U_{ном} \geq U_{уст}$;

по допустимой нагрузке: $F_{доп} > \square F_{расч}$.

где $F_{расч}$ – сила, действующая на изолятор;

$F_{доп}$ – допустимая нагрузка на головку изолятора, $F_{доп} = 0,6F_{разруш}$;

$F_{разруш}$ – разрушающая нагрузка на изгиб.

$$F_{расч} = \frac{\sqrt{3} \times 10^{-1} \times i_{уд}^2 \times L}{a} = \frac{\sqrt{3} \times 10^{-1} \times 8,4^2 \times 50}{100} = 6,1 \text{ кгс}.$$

Выбираем изолятор типа ОНШ-10-500У1, $F_{\text{разруш}} = 500$ кгс. Условие выполняется.

Таблица 3.14 - Кабельный журнал

Наименование участка	S _p , кВА	Кол-во кабелей в траншее	Нагрузка		По экономической плотности тока, мм ²		По допустимой нагрузке, мм ²		По току короткого замыкания, мм ²		Выбранный кабель	I _{доп} , А
			I _p , А	I _{ав} , А	j _э	F _э	K _п	F _{доп}	I _к , А	S		
ГПП-(ТП1+ТП2)	1990,7	2	54,8	109,6	1,4	39,1	0,9	25	3,3	35	ААШВ-10-(3×50)	140
ГПП-(ТП3+ТП4)	1347,8	2	37,1	74,2	1,4	26,5	0,9	16	3,3	35	ААШВ-10-(3×50)	140
ГПП-(ТП5+ТП6)	2013,5	2	55,4	110,8	1,4	39,5	0,9	25	3,3	35	ААШВ-10-(3×50)	140
ТП1-ТП2	995,35	2	27,4	54,8	1,4	19,5	0,9	16	3,3	35	ААШВ-10-(3×50)	140
ТП3-ТП4	449,2	1	24,7	-	1,4	17,6	1	16	3,3	35	ААШВ-10-(3×50)	140
ТП5-ТП6	1006,75	2	27,7	55,4	1,4	19,7	0,9	16	3,3	35	ААШВ-10-(3×50)	140
ГПП-СД	800	4	37,4	-	1,4	26,7	0,85	16	3,3	35	4 ААШВ-10-(3×50)	140

4 Специальная часть

4.1 Выбор главных размеров и расчет обмотки статора

Расчет асинхронных машин начинают с определения главных размеров: внутреннего диаметра и расчетной длины магнитопровода l_{δ} .

Внутренний диаметр

$$D = K_D \cdot D_a, \quad (4.1)$$

где $K_D = 0,63$ - коэффициент, характеризующий отношение внутреннего и внешнего диаметров сердечника статора при различном числе полюсов;

$D_a = 168 \cdot 10^{-3}$ м - внешний диаметр статора.

$$D = 168 \cdot 10^{-3} \cdot 0,63 = 106 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Полюсное деление

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2p}, \quad (4.2)$$

$$\tau = \frac{3,14 \cdot 106 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 2} = 83 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Расчётная мощность машины

$$P' = P_2 \cdot \frac{k_E}{\eta \cdot \cos \phi}, \quad (4.3)$$

где $P_2 = 3$ кВт - мощность на валу двигателя;

$k_E = 0,965$ - отношение ЭДС обмотки статора к номинальному напряжению выбирается по рисунку 9.21 а [1*];

$\eta = 0,82$ - коэффициент полезного действия;

$\cos \phi = 0,83$ - коэффициент мощности двигателя.

$$P' = 3000 \cdot \frac{0,965}{0,82 \cdot 0,83} = 4253,6 \text{ Вт.}$$

Предварительное значение обмоточного коэффициента $k_{об1}$ выбирают в зависимости от типа обмотки статора.

Расчетная длина магнитопровода

$$l_{\delta} = \frac{P'}{k_B \cdot D^2 \cdot \Omega \cdot k_{об1} \cdot A \cdot B_{\delta}}, \quad (4.4)$$

где $\Omega = 157,08$ рад/с - синхронная угловая частота двигателя;

$k_B = 1,11$ - коэффициент формы поля;

$A = 24,6 \cdot 10^3$ А/м – линейная токовая нагрузка;

$B_{\delta} = 0,9$ Тл – магнитная индукция в воздушном зазоре;

$k_{об1} = 0,96$ - обмоточный коэффициент (предварительно для однослойной обмотки).

$$l_{\delta} = \frac{4253,6}{1,11 \cdot (106 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 157,08 \cdot 0,96 \cdot 24,6 \cdot 10^3 \cdot 0,9} = 102 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Критерием правильности выбора главных размеров D и l_{δ} служит отношение

$$\lambda = \frac{l_{\delta}}{\tau}, \quad (4.5)$$

$$\lambda = \frac{102 \cdot 10^{-3}}{83 \cdot 10^{-3}} = 1,22.$$

Для данного двигателя значение λ должно находиться в пределах от 0,6 до 1,3.

Магнитопровод статора выполняем без радиальных каналов, так как расчетная длина машины не превышает 250 мм.

$$l_1 = l_{cm} = l_{\delta}, \quad (4.6)$$

$$l_1 = l_{cm} = 102 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

4.2 Выбор числа пазов и типа обмотки статора, расчет обмотки и размеров зубцовой зоны статора

Определение размеров зубцовой зоны статора начинаем с выбора числа пазов статора Z_1 . Определяем граничные значения зубцового деления t_{Z1max} и t_{Z1min}

$$t_{Z_{1\max}} = 12,5 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

$$t_{Z_{1\min}} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Число пазов статора

$$Z_{1\min} \div Z_{1\max} = \frac{\pi \cdot D}{t_{Z_{1\max}}} \div \frac{\pi \cdot D}{t_{Z_{1\min}}}, \quad (4.7)$$

$$Z_{1\min} \div Z_{1\max} = \frac{3,14 \cdot 106 \cdot 10^{-3}}{12,5 \cdot 10^{-3}} \div \frac{3,14 \cdot 106 \cdot 10^{-3}}{9 \cdot 10^{-3}} = 26,64 \div 37.$$

Из данного диапазона значений z_1 выбираем такое, при котором число пазов на полюс и фазу q_1 будет целым числом. Выбираем $Z_1 = 36$.

Число пазов на полюс и фазу

$$q_1 = \frac{Z_1}{2p \cdot m_1}, \quad (4.8)$$

$$q_1 = \frac{36}{2 \cdot 2 \cdot 3} = 3.$$

Зубцовое деление статора

$$t_{z1} = \frac{\pi \cdot D}{2p \cdot m_1 \cdot q_1}, \quad (4.9)$$

$$t_{z1} = \frac{3,14 \cdot 106 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 3} = 9,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Число эффективных проводников в пазу (предварительно, при условии $a=1$)

$$u'_n = \frac{\pi \cdot D \cdot A}{I_{1\text{ном}} \cdot Z_1}, \quad (4.10)$$

где $I_{1\text{ном}}$ - номинальный ток обмотки статора, А

$$I_{1\text{ном}} = \frac{P_2}{m_1 \cdot U_{1\text{ном}} \cdot \cos \phi \cdot \eta}, \quad (4.11)$$

$$I_{1ном} = \frac{3000}{3 \cdot 220 \cdot 0,83 \cdot 0,82} = 6,68 \text{ А},$$

$$u'_n = \frac{3,14 \cdot 106 \cdot 10^{-3} \cdot 24,6 \cdot 10^3}{6,68 \cdot 36} = 34,06.$$

Число эффективных проводников в пазу статора

$$u_n = a \cdot u'_n, \quad (4.12)$$

где $a=1$ - число параллельных ветвей в пазу статора при целом q_1 должно удовлетворять условию $2p/a_1 = \text{целое число}$.

$$u_n = 34,06 \cdot 1 = 34,06 \approx 34 \text{ проводника.}$$

Число витков в фазе обмотки

$$w_1 = \frac{u_n \cdot Z_1}{2 \cdot a \cdot m_1}, \quad (4.13)$$

$$w_1 = \frac{34 \cdot 36}{2 \cdot 1 \cdot 3} = 204 \text{ витка.}$$

Линейная нагрузка

$$A = \frac{2 \cdot I_{1ном} \cdot w_1 \cdot m_1}{\pi \cdot D}, \quad (4.14)$$

$$A = \frac{2 \cdot \dots \cdot 3}{3,14 \cdot \dots \cdot 10^{-3}} = \text{А/м.}$$

Для данного двигателя выбираем однослойную концентрическую обмотку, схема которой представлена на рисунке 4.1.

Коэффициент распределения

$$k_p = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot m_1}\right)}{q_1 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot m_1 \cdot q_1}\right)}, \quad (4.15)$$

$$k_p = \frac{\sin\left(\frac{3,14}{2 \cdot 3}\right)}{3 \cdot \sin\left(\frac{3,14}{2 \cdot 3 \cdot 3}\right)} = 0,96.$$

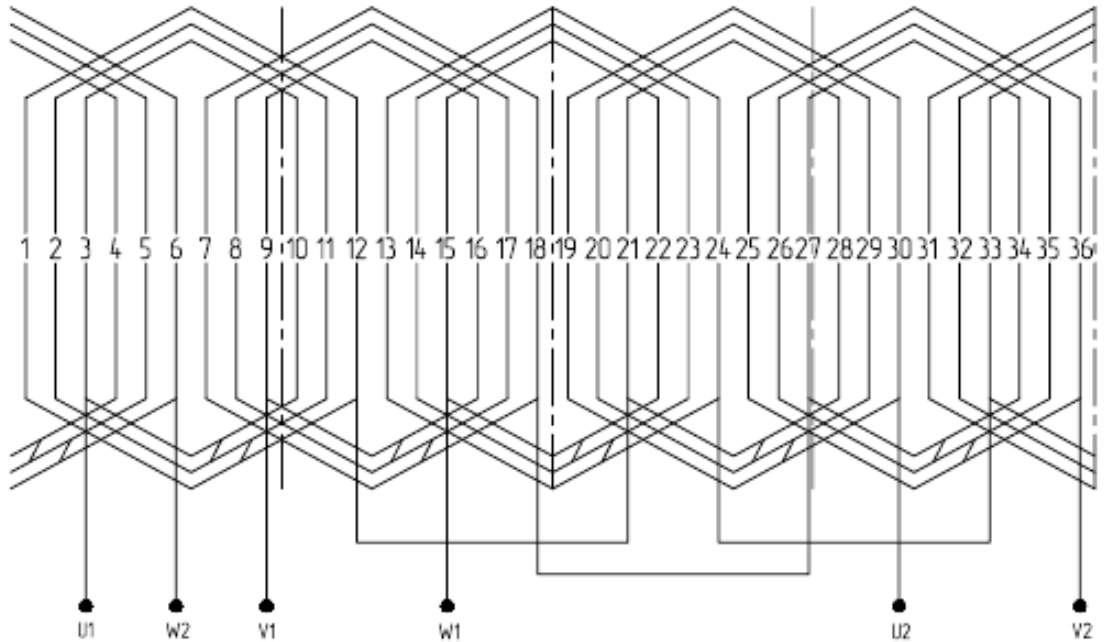


Рисунок 4.1 – Схема однослойной обмотки статора:

$$2p = 4, Z_1 = 36, a_1 = 1, q_1 = 3, y = 9.$$

Укорочение шага

$$y_1 = \beta \cdot m_1 \cdot q_1, \quad (4.16)$$

$$y_1 = 1 \cdot 3 \cdot 3 = 9.$$

Коэффициент укорочения шага обмотки статора

$$k_y = \sin\left(\frac{\beta \cdot \pi}{2}\right), \quad (4.17)$$

$$k_y = \sin\left(\frac{1 \cdot 3,14}{2}\right) = 1.$$

Обмоточный коэффициент

$$k_{об1} = k_y \cdot k_p, \quad (4.18)$$

$$k_{o\phi 1} = 1 \cdot 0,96 = 0,96.$$

После расчета $k_{o\phi 1}$ рассчитывают значение магнитного потока

$$\Phi = \frac{k_E \cdot U_1}{4 \cdot k_B \cdot w_1 \cdot k_{o\phi 1} \cdot f_1}, \quad (4.19)$$

$$\Phi = \frac{0,965 \cdot 220}{4 \cdot 1,11 \cdot 204 \cdot 0,96 \cdot 50} = 4,88 \cdot 10^{-3} \text{ Вб.}$$

и определяют индукцию в воздушном зазоре

$$B_\delta = \frac{p \cdot \Phi}{D \cdot l_\delta}, \quad (4.20)$$

$$B_\delta = \frac{2 \cdot 4,88 \cdot 10^{-3}}{106 \cdot 10^{-3} \cdot 102 \cdot 10^{-3}} = 0,903 \text{ Тл.}$$

Плотность тока в обмотке статора

$$J_1 = \frac{AJ}{A}, \quad (4.21)$$

где $AJ = 180 \cdot 10^9 \text{ А}^2/\text{м}^3$ - тепловой фактор, значение которого выбираем в зависимости от числа полюсов, внешнего диаметра сердечника статора, исполнения машины по степени защищенности и способу охлаждения.

$$J_1 = \frac{180 \cdot 10^9}{24552,886} = 7,33 \cdot 10^6 \text{ А}/\text{м}^2.$$

Площадь поперечного сечения эффективного проводника (предварительно) при количестве параллельных ветвей $a = 1$

$$q_{\phi 1} = \frac{I_{ном}}{a \cdot J_1}, \quad (4.22)$$

$$q_{\phi 1} = \frac{6,68}{1 \cdot 7,33 \cdot 10^6} = 0,911 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Принимается $n_{эл} = 1$, тогда сечение элементарного проводника

$$q_{эл} = \frac{q_{эф}}{n_{эл}}, \quad (4.23)$$

$$q_{эл} = \frac{0,911}{1} \cdot 10^{-6} = 0,911 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Для данного двигателя выбираем провод марки ПЭТВ класса изоляции F со следующими параметрами: $d_{эл} = 1,12$ мм, $d_{из} = 1,2$ мм, $q_{эл} = 0,985$ мм².

Сечение эффективного проводника

$$q_{эл} \cdot n_{эл} = q_{эф}, \quad (4.24)$$

$$q_{эф} = 1 \cdot 0,985 \cdot 10^{-6} = 0,985 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Плотность тока в обмотке статора (окончательно)

$$J_1 = \frac{I_{ном}}{a \cdot q_{эл} \cdot n_{эл}}, \quad (4.25)$$

$$J_1 = \frac{6,68}{1 \cdot 0,985 \cdot 10^{-6} \cdot 1} = 6,78 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2.$$

В качестве пазовой изоляции (рисунок 3.2), пазовой крышки и изоляции между слоями используется пленкотекстолит марки «Имидофлекс» класса нагревостойкости F.

Таблица 3.1 – Изоляция двухслойной всыпной обмотки статора

Позиция	Толщина материала	Класс изоляции	Число слоев	Односторонняя толщина, мм
1	0,25	F	1	0,25
2	0,25	F	1	0,25

Магнитопровод статора и ротора выполняется шихтованным из листовой электротехнической стали марки 2013, толщиной 0,5 мм.

Предварительное значение ширины зубца статора

$$b_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_{z1} \cdot l_{\delta}}{B_{z1} \cdot l_{cm1} \cdot k_{cm1}}, \quad (4.26)$$

где $k_{cm1} = 0,97$ - коэффициент заполнения сталью магнитопровода статора и ротора, для стали марки 2013;

$B_{Z1} = 1,62$ Тл - значение магнитной индукции в зубцах статора;

$l_{cm1} = l_{\delta} = 102 \cdot 10^{-3}$ м.

$$b_{z1} = \frac{0,903 \cdot 9,3 \cdot 10^{-3}}{1,62 \cdot 0,97} = 5,3 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

По выбранному значению индукции определяется высота ярма статора

$$h_a = \frac{\Phi}{2 \cdot B_a \cdot l_{cm1} \cdot k_{cm1}}, \quad (4.27)$$

где $B_{a1} = 1,6$ Тл - значение индукции в ярме статора.

$$h_a = \frac{4,88 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot 102 \cdot 10^{-3} \cdot 0,97} = 15,4 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Высота паза

$$h_n = \frac{D_a - D}{2} - h_a, \quad (4.28)$$

$$h_n = \frac{168 \cdot 10^{-3} - 106 \cdot 10^{-3}}{2} - 15,4 \cdot 10^{-3} = 15,6 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Размеры пазовой части выбираем по высоте оси вращения. Для данного двигателя принимаем $b_{ш} = 3 \cdot 10^{-3}$ м - размер шлица, $h_{ш} = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м - высота шлица.

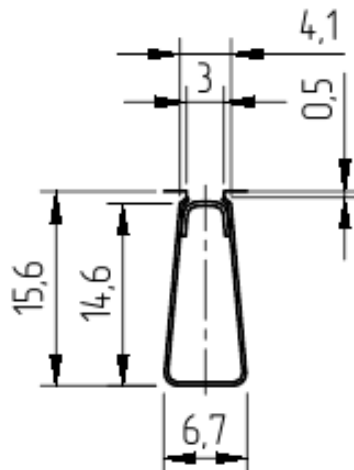


Рисунок 4.2 – Паз статора (2:1)

Ширина нижней части паза

$$b_1 = \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot h_{uu} - b_{uu}) - Z_1 \cdot b_{Z1}}{Z_1 - \pi}, \quad (4.29)$$

$$b_1 = \frac{3,14 \cdot (106 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} - 3 \cdot 10^{-3}) - 36 \cdot 5,3 \cdot 10^{-3}}{36 - 3,14} = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Ширина верхней части паза

$$b_2 = \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot h_n)}{Z_1} - b_{Z1}, \quad (4.30)$$

$$b_2 = \frac{3,14 \cdot (106 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 15,6 \cdot 10^{-3})}{36} - 5,3 \cdot 10^{-3} = 6,7 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

$$h_1 = h_n - \left(h_{uu} + \frac{b_1 - b_{uu}}{2} \right), \quad (4.31)$$

$$h_1 = 15,6 \cdot 10^{-3} - \left(0,5 \cdot 10^{-3} + \frac{4,1 \cdot 10^{-3} - 3 \cdot 10^{-3}}{2} \right) = 14,6 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Полученные размеры округляют до десятых долей миллиметра.

Размеры паза в свету с учетом припуска на сборку

$$b'_1 = b_1 - \Delta b_n, \quad (4.32)$$

где $\Delta b_n = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м - припуск по ширине паза.

$$b'_1 = 4,1 \cdot 10^{-3} - 0,1 \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м,}$$

$$b'_2 = b_2 - \Delta b_n, \quad (4.33)$$

$$b'_2 = 6,7 \cdot 10^{-3} - 0,1 \cdot 10^{-3} = 6,6 \cdot 10^{-3} \text{ м,}$$

$$h'_n = h_1 - \Delta h_n, \quad (4.34)$$

где $\Delta h_n = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м - припуск по высоте паза.

$$h'_n = 14,6 \cdot 10^{-3} - 0,1 \cdot 10^{-3} = 14,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Площадь, занимаемая корпусной изоляцией в пазу

$$S_{uz} = b_{uz} \cdot (2 \cdot h_n + b_1 + b_2), \quad (4.35)$$

где $b_{uz} = 0,25 \cdot 10^{-3}$ м - односторонняя толщина изоляции в пазу.

$$S_{uz} = 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot (2 \cdot 15,6 \cdot 10^{-3} + 4,1 \cdot 10^{-3} + 6,7 \cdot 10^{-3}) = 10,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Площадь поперечного сечения паза, остающаяся свободной для размещения проводников обмотки

$$S'_n = \frac{b'_1 + b'_2}{2} \cdot h'_n - (S_{uz} + S_{np}), \quad (4.36)$$

$$S'_n = \frac{4 \cdot 10^{-3} + 6,6 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot 14,5 \cdot 10^{-3} - 10,5 \cdot 10^{-6} - 0 \cdot 10^{-6} = 66,35 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Коэффициента заполнения паза

$$k_3 = \frac{(d_{uz}^2 \cdot u_n \cdot n_{эл})}{S'_n}, \quad (4.37)$$

$$k_3 = \frac{1,2^2 \cdot 34}{66,35 \cdot 10^{-6}} = 0,737.$$

Коэффициента заполнения паза должен находиться в пределах от 0,72 до 0,74 для двигателей с $2p = 4$.

Уточнённые значения ширины зубца

$$b''_{z11} = \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot h_n)}{Z_1} - b_2, \quad (4.38)$$

$$b''_{z12} = \frac{\pi (D + 2 \cdot h_{u1} + 2 \cdot h_{12})}{Z_1} - b_1 \quad (4.39)$$

$$b_{z11}'' = \frac{3,14 \cdot (106 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 15,6 \cdot 10^{-3})}{36} - 6,7 \cdot 10^{-3} = 5,27 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

$$b_{z12}'' = \frac{3,14 \cdot (106 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 0,55 \cdot 10^{-3})}{36} - 4,1 \cdot 10^{-3} = 5,33 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Среднее значение ширины зубца статора

$$b_{z1cp} = 0,5 \cdot (b_{z11}'' + b_{z12}''), \quad (4.40)$$

$$b_{z1cp} = 0,5 \cdot (5,27 \cdot 10^{-3} + 5,33 \cdot 10^{-3}) = 5,303 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Расчётное значение ширины зубца статора

$$b_{z1p} = \frac{(b_{z1\max}'' + 2 \cdot b_{z1\min}'')}{3}, \quad (4.41)$$

$$b_{z1p} = \frac{(5,33 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 5,27 \cdot 10^{-3})}{3} = 5,29 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Расчётная высота зубца статора

$$h_{zp1} = h_n, \quad (4.42)$$

$$h_{zp1} = 15,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Уточнённое значение высоты ярма статора

$$h_{a1} = 0,5 \cdot (D_a - D) - h_{n1}, \quad (4.43)$$

$$h_{a1} = 0,5 \cdot (168 \cdot 10^{-3} - 106 \cdot 10^{-3}) - 15,6 \cdot 10^{-3} = 15,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

4.3 Выбор воздушного зазора

Воздушный зазор является одним из основных размеров асинхронного двигателя, так как он влияет на энергетические и виброакустические показатели, на использование активных материалов и надёжность машины.

Поэтому, правильный выбор его во многом определяет качество будущего двигателя.

Требования к размерам воздушного зазора неоднозначны. При уменьшении зазора снижается намагничивающая сила и ток намагничивания, а, следовательно, повышается коэффициент мощности двигателя. Вместе с тем увеличивается дифференциальное рассеяние и индуктивное сопротивление рассеяния обмоток, увеличиваются поверхностные и пульсационные потери в стали зубцов, что приводит к уменьшению коэффициента полезного действия и увеличивается нагрев обмоток. При этом увеличивается уровень шума и вибраций магнитного происхождения, возрастает нагрузка на вал и подшипники от сил магнитного притяжения, возникает опасность задевания ротора о статор.

Для данного двигателя воздушный зазор рассчитывается по следующей формуле

$$\delta = (0,25 + D) \cdot 10^{-3}, \quad (4.44)$$

$$\delta = (0,25 + 106 \cdot 10^{-3}) \cdot 10^{-3} = 0,356 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Для данного двигателя воздушный зазор принимается из ряда стандартных значений, равным $\delta = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

4.4 Расчет короткозамкнутого ротора

Внешний диаметр ротора

$$D_2 = D - 2 \cdot \delta, \quad (4.45)$$

$$D_2 = 106 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} = 105,4 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Пазы на роторе выполняются без скоса. Согласно рекомендациям к выбору числа пазов ротора, принимаем число пазов ротора равным $Z_2 = 28$.

Длина магнитопровода ротора

$$l_2 = l_1, \quad (4.46)$$

$$l_2 = 102 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Зубцовое деление ротора

$$t_2 = \frac{\pi \cdot D_2}{Z_2}, \quad (4.47)$$

$$t_2 = \frac{3,14 \cdot 105,4 \cdot 10^{-3}}{28} = 11,8 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Внутренний диаметр сердечника ротора D_i при непосредственной посадке на вал равен диаметру вала D_g и может быть определен по формуле

$$D_g = k_g \cdot Da, \quad (4.48)$$

где $k_g = 0,23$.

$$D_g = 0,23 \cdot 168 \cdot 10^{-3} = 38,6 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Скос пазов в долях зубцового деления ротора

$$\beta_{ск} = \frac{b_{ск}}{t_2}, \quad (4.49)$$

где $b_{ск}$ - величина скоса, м.

$$\beta_{ск} = \frac{9,3 \cdot 10^{-3}}{11,8 \cdot 10^{-3}} = 0,79.$$

Центральный угол скоса пазов

$$\alpha_{ск} = \frac{\pi \cdot 2p \cdot \beta_{ск}}{Z_2}, \quad (4.50)$$

$$\alpha_{ск} = \frac{3,14 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,79}{28} = 0,355.$$

Коэффициент скоса

$$k_{ск} = \frac{2 \cdot \sin(0,5 \cdot \alpha_{ск})}{\alpha_{ск}}, \quad (4.51)$$

$$k_{ск} = \frac{2 \cdot \sin(0,5 \cdot 0,355)}{0,355} = 0,995.$$

Ток в стержне ротора

$$I_2 = k_i \cdot I_{1H} \cdot v_i, \quad (4.52)$$

где $k_i = 0,864$ - коэффициент, учитывающий влияние тока намагничивания.

$$v_i = \frac{2 \cdot m_1 \cdot w_1 \cdot k_{об1}}{Z_2 \cdot k_{ск}}, \quad (4.53)$$

$$v_i = \frac{2 \cdot 3 \cdot 204 \cdot 0,96}{28 \cdot 0,97} = 42,177,$$

$$I_2 = 0,864 \cdot 6,68 \cdot 42,177 = 243,43 \text{ А.}$$

Предварительно определяется площадь поперечного сечения стержня

$$q_c = \frac{I_2}{J_2}, \quad (4.54)$$

где $J_2 = 4 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$ - плотность тока в стержне литой клетки.

$$q_c = \frac{243,43}{4 \cdot 10^6} = 60,86 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Паз ротора принимаем полузакрытым, грушевидной формы (рисунок 5.1). Размеры шлицевой части принимаем $b_{uu} = 1,0 \text{ мм}$, и $h_{uu} = 0,5 \text{ мм}$. Высота перемычки над пазом в двигателях с $2p = 4$ выполняется равной $h'_{uu} = 0 \text{ мм}$.

Ширина зубца ротора

$$b_{Z2} = \frac{B_\delta \cdot t_{Z2} \cdot l_\delta}{B_{Z2} \cdot l_{cm2} \cdot k_c}, \quad (4.55)$$

где $B_{Z2} = 1,8 \text{ Тл}$ - допустимая индукция в зубцах ротора.

$$b_{Z2} = \frac{0,903 \cdot 11,8 \cdot 10^{-3}}{1,8 \cdot 0,97} = 6,1 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

После чего рассчитывают размеры паза

$$b_1 = \frac{\pi \cdot (D_2 - 2 \cdot h_{uu} - 2 \cdot h'_{uu}) - Z_2 \cdot b_{Z2}}{\pi + Z_2}, \quad (4.56)$$

$$b_2 = \sqrt{\frac{b_1^2 \cdot \left(\frac{Z_2}{\pi} + \frac{\pi}{2}\right) - 4 \cdot q_c}{\frac{Z_2}{\pi} - \frac{\pi}{2}}}, \quad (4.57)$$

$$b_1 = \frac{3,14 \cdot (105,4 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 0 \cdot 10^{-3}) - 28 \cdot 6,1 \cdot 10^{-3}}{3,14 + 28} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

$$b_2 = \sqrt{\frac{(5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \left(\frac{28}{3,14} + \frac{3,14}{2}\right) - 4 \cdot 60,86 \cdot 10^{-6}}{\frac{28}{3,14} - \frac{3,14}{2}}} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Высота паза

$$h_1 = (b_1 - b_2) \cdot \frac{Z_2}{2 \cdot \pi}, \quad (4.58)$$

$$h_1 = (5 \cdot 10^{-3} - 1,6 \cdot 10^{-3}) \cdot \frac{28}{2 \cdot 3,14} = 15,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Уточненное значение ширины зубцов ротора

$$b'_{Z2} = \pi \cdot \frac{D_2 - 2 \cdot (h_{uu} + h'_{uu}) - b_1}{Z_2} - b_1, \quad (4.59)$$

$$b''_{Z2} = \pi \cdot \frac{D_2 - 2 \cdot h_n + b_2}{Z_2} - b_2, \quad (4.60)$$

$$b'_{Z2} = 3,14 \cdot \frac{105,4 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot (0,5 \cdot 10^{-3} + 0 \cdot 10^{-3}) - 5 \cdot 10^{-3}}{28} - 5 \cdot 10^{-3} = 6,15 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

$$b''_{Z2} = 3,14 \cdot \frac{105,4 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 19 \cdot 10^{-3} + 1,6 \cdot 10^{-3}}{28} - 1,6 \cdot 10^{-3} = 6,14 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Полная высота паза

$$h_{n2} = h_{uu2}' + h_{uu2} + \frac{b_1}{2} + h_1 + \frac{b_2}{2}, \quad (4.61)$$

$$h_{n2} = 0 \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot 10^{-3} + \frac{5 \cdot 10^{-3}}{2} + 15,2 \cdot 10^{-3} + \frac{1,6 \cdot 10^{-3}}{2} = 19 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

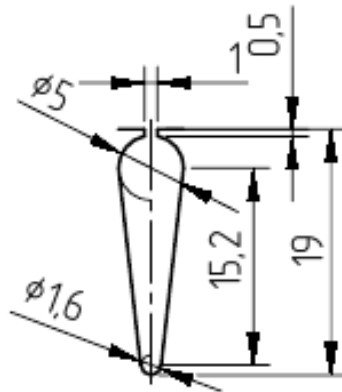


Рисунок 4.3 – Паз ротора (2:1)

Расчётная ширина зубца

$$b_{z2p} = \frac{b_{z2\max}'' + 2 \cdot b_{z2\min}''}{3}, \quad (4.62)$$

$$b_{z2p} = \frac{6,15 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 6,14 \cdot 10^{-3}}{3} = 6,145 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Среднее значение ширины зубца

$$b_{zcp} = \frac{b_{z2\max}'' + b_{z2\min}''}{2}, \quad (4.63)$$

$$b_{zcp} = \frac{6,15 \cdot 10^{-3} + 6,14 \cdot 10^{-3}}{2} = 6,147 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Площадь поперечного сечения стержня

$$q_c = \frac{\pi}{8} \cdot (b_1^2 + b_2^2) + \frac{1}{2} \cdot (b_1 + b_2) \cdot h_1, \quad (4.64)$$

$$q_c = \frac{3,14}{8} \cdot \left((5 \cdot 10^{-3})^2 + (1,6 \cdot 10^{-3})^2 \right) + \frac{1}{2} \cdot (5 \cdot 10^{-3} + 1,6 \cdot 10^{-3}) \cdot 15,2 \cdot 10^{-3} = 60,98 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Площадь поперечного сечения замыкающих колец

$$q_{кл} = \frac{I_{кл}}{J_{кл}}, \quad (4.65)$$

где $J_{кл} = 0,8 \cdot J_2$ - плотность тока в кольце.

$$J_{кл} = 0,8 \cdot 3,99 \cdot 10^6 = 3,193 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2,$$

$$q_{кл} = \frac{547,03}{3,193 \cdot 10^6} = 171,29 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Ток в кольце

$$I_{кл} = \frac{I_2}{2 \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot p}{Z_2}\right)}, \quad (4.66)$$

$$I_{кл} = \frac{243,43}{2 \cdot \sin\left(\frac{3,14 \cdot 2}{28}\right)} = 547,03 \text{ А.}$$

Размеры замыкающих колец

$$b_{кл} = 1,1 \cdot h_{n2}, \quad (4.67)$$

$$a_{кл} = \frac{q_{кл}}{b_{кл}}, \quad (4.68)$$

$$b_{кл} = 1,1 \cdot 19 \cdot 10^{-3} = 20,9 \cdot 10^{-3} \text{ м,}$$

$$a_{кл} = \frac{171,29 \cdot 10^{-6}}{20,9 \cdot 10^{-3}} = 8,2 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Средний диаметр замыкающих колец

$$D_{\text{кл.ср}} = D_2 - b_{\text{кл}}, \quad (4.69)$$

$$D_{\text{кл.ср}} = 105,4 \cdot 10^{-3} - 20,9 \cdot 10^{-3} = 84,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

4.5 Исследование влияния изменения величины воздушного зазора на параметры асинхронного двигателя

В ниже приведённой таблице занесены параметры асинхронной машины которые изменяются с изменением величины воздушного зазора таблица 4.1.

Таблица 4.1 – Параметры асинхронной машины

Величина δ	мм	0,25	0,3	0,35
k_δ	-	1,3416	1,3081	1,2978
F_δ	А	482,03	563,99	652,81
k_z	А	1,18	1,15	1,13
ΣF	А	669,18	750,11	838,93
I_μ	А	2,53	2,84	3,17
x_1	Ом	1,844	1,772	1,716
$P_{\text{эxx}}$	Вт	47,91	60,37	75,22
η	о.е.	0,822	0,82	0,8165
$\cos \phi$	о.е.	0,873	0,858	0,839
$s_{\text{кр}}$	о.е.	0,4014	0,4068	0,4184
$\max(M^*)$	-	2,91	2,858	2,885
M_{II}^*	-	2,628	2,584	2,592
I_{II}^*	-	5,886	5,886	5,867
$\Delta \mathcal{G}_B$	$^{\circ}\text{C}$	66,42	68,53	68,79

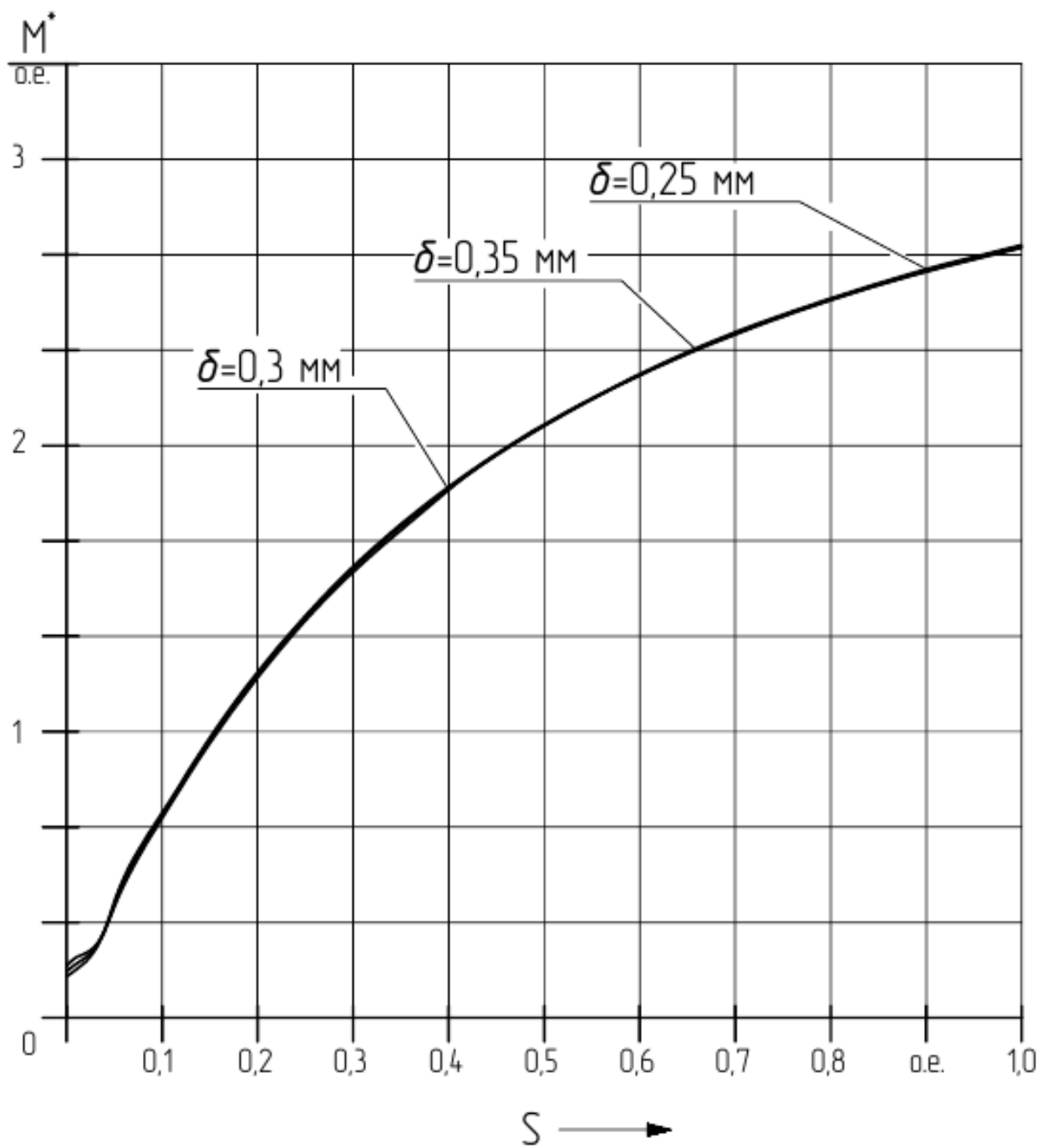


Рисунок 4.4 – Зависимость $I = f(s)$ при изменении величины воздушного зазора

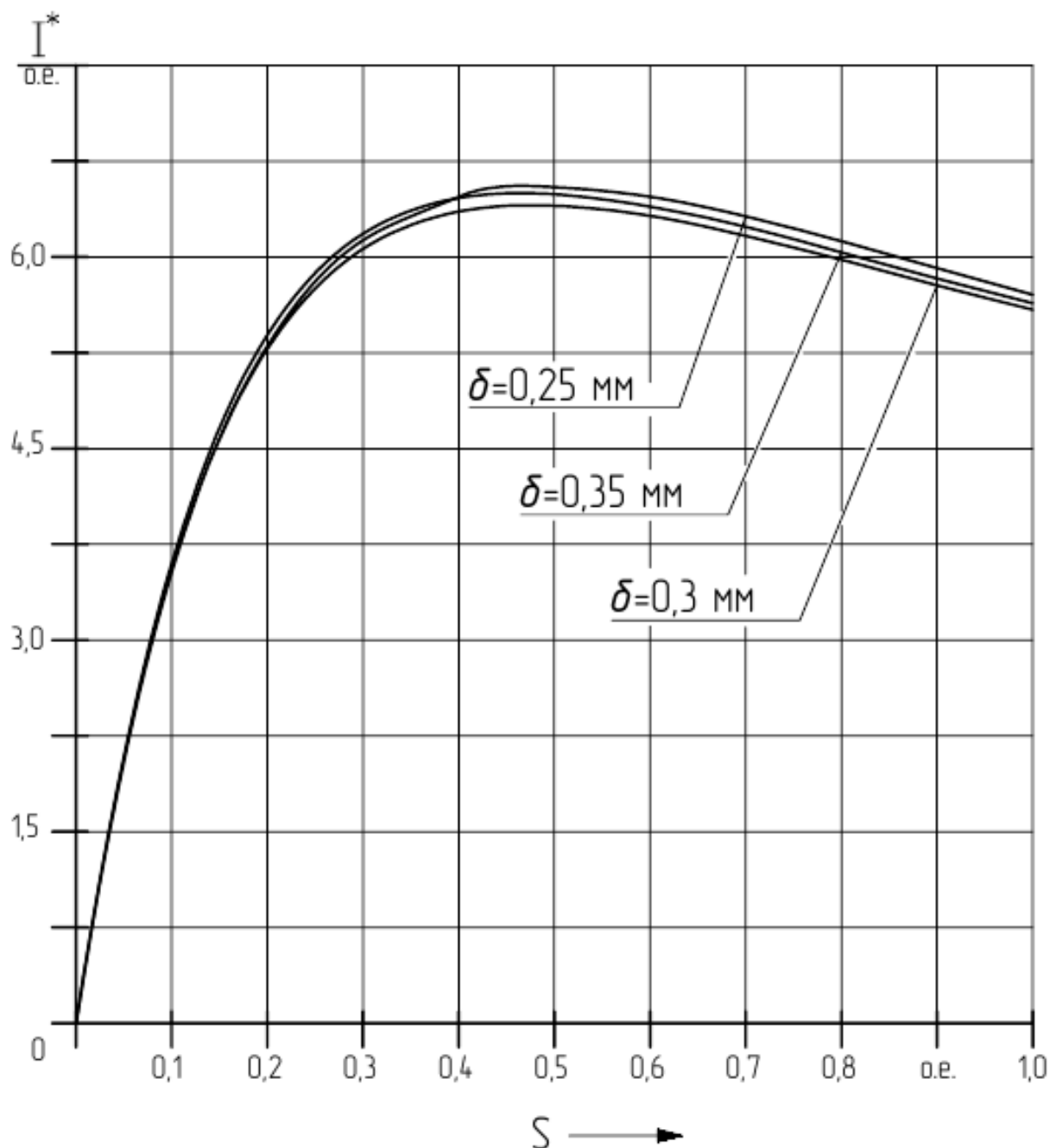


Рисунок 4.5 - Зависимость $M = f(s)$ при изменении величины воздушного зазора

Расчёт проводился для трёх значений величины воздушного зазора: 0,25;0,3;0,35 мм. Учитывая данные записанные в таблице 4.1 можно сделать вывод о том, что для данного двигателя оптимальным значением величины воздушного зазора будет значение равное 0,3 мм, так как при уменьшении воздушного зазора помимо увеличения кратности пускового момента увеличивается и пусковой ток, что негативно влияет на характеристики двигателя. Однако при увеличении воздушного зазора увеличивается температура обмотки статора, что приводит к износу изоляции. Поэтому для данного двигателя принимаем воздушный зазор

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной целью дипломной работы является исследование трехфазного четырехполюсного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором мощностью 3 кВт. Выбор новой схемы электроснабжения осуществляется путем сравнения двух новых вариантов схем электроснабжения данного предприятия.

В результате сравнения двух вариантов схем электроснабжения выявлено, что для реконструкции действующей схемы электроснабжения необходимо принять второй вариант схемы электроснабжения по ЛЭП-10кВ.

Результатом данной работы является спроектированный трёхфазный четырёх полюсный асинхронный двигатель. В выпускной квалификационной работе был выполнен электромагнитный расчёт двигателя, а также механический расчёт вала, произведено конструирование двигателя.

В данном дипломном проекте был рассчитан асинхронный двигатель мощностью 3 кВт со следующими параметрами: $\eta = 0,82$, $\cos \varphi = 0,858$, $I_{II}^* = 6,058$, $M_{II}^* = 2,483$.

Представлены результаты расчёта асинхронного двигателя при изменении величины воздушного зазора. Построены пусковые характеристики при изменении величины воздушного зазора, а также приведена таблица расчётных данных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Справочник по проектированию электроснабжения/Под. ред. Барыбина Ю.Г.- М.: Энергоатомиздат,1990.- с.123-129.
- 2 Справочник по электроснабжению и электрооборудованию.Т.1. Электроснабжение/Под.ред. Федорова А.А.- М.,1986.- с.162-187.
- 3 Справочник по электроснабжению и электрооборудованию.Т.2. Электрооборудование /Под.ред. Федорова А.А. М.1986. - стр.144.
- 4 Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования/Под.ред. Барыбина Ю.Г. - М.: Энергоатомиздат,1990., с 238-245.
- 5 Основы электроснабжения промышленных предприятий/3-е издание/ А.А. Федоров, В.В.Каменева.- М.:Энергия,1979.- с. 219-230.
- 6 Справочник электрика промышленных предприятий/под общ.ред. А.А Федорова, П.В.Кузнецова. - М.: Государственное энергетическое издательство, 1954.- с.99-108.
- 7 Электрические сети и системы/ В.И.Идельчик.-М: Энергоатомиздат, 1989., с.496-533.
- 8 Надежность электроснабжения промышленных предприятий/ Е.А.Конюхова, Э.А. Киреева - М.: ТНФ «Энергопрогресс», «Энергетик»,2001., стр 42.
- 9 Расчет и анализ потерь электроэнергии в электрических сетях/ Ю.С. Железко.- М.: изд. «НЦ ЭНАС», 2004., с.88-99.
- 10 Охрана труда/ под ред. К.З.Ушакова.- М.: Недра, 1986, стр.129.
- 11 Охрана труда в машиностроении/2-изд./под ред.Е.Я.Юдина, С.В.Белова.- М.: Машиностроение, 1983., с.164-78.
- 12 Экономика электротехнического производства/ Под ред. В.Е.Астафьева.- М.: Высшая школа, 1989., стр 79.
- 13 Копылов, И.П. Проектирование электрических машин: учебник для вузов./ И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев: под ред. И.П. Копылова.- 4-е изд., перераб. и доп.-М.: Издательство Юрайт, 2011.- 767 с.
- 14 Гольдберг, О.Д. Проектирование электрических машин: учебник для вузов./ О.Д. Гольдберг, Я.С. Гурин, И.С. Свириденко; под ред. О.Д. Гольдберга. – М.: Высшая школа, 1984. – 434 с.
- 15 Виноградов, Н.В. Производство электрических машин: учебное пособие для втузов./ изд 2- перераб.– М.: Энергия, 1970. – 288 с.
- 16 Копылов, И.П. Справочник по электрическим машинам: в 2-х т./ под. общ. ред. И.П. Копылова и Б.К. Клокова. - М.: Энергоатомиздат, 1988.- Т. 1, – 456 с; 1989.–Т. 2.–688 с.
- 17 Антонов, М. В. Технология производства электрических машин: учебник для вузов./ М. В. Антонов – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 592 с.
- 18 СТ0 101-2014. Работы студенческие. Общие требования и правила оформления. – Оренбург. ОГУ, 2014. – 86 с.