

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Чайковский филиал

Кафедра: Автоматизации, информационных и инженерных технологий

Направление подготовки: 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Профиль: Электроснабжение

**МП 12.8-2022**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению курсовой работы по дисциплине  
«Электроэнергетическое оборудование»

2022

Составитель: Ковязина И.В.

Методические рекомендации к выполнению курсовой работы по дисциплине «Электроэнергетическое оборудование» для студентов, обучающихся по программе бакалавриата по направлению 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника – Чайковский, 2022. - с. 25.

Изложены требования к содержанию, объёму и оформлению курсовых работ по дисциплине «Электроэнергетическое оборудование». Приведены методика расчета и выбора электрооборудования. Особое внимание уделено вопросам обеспечения качества регулирования напряжения в системах электроснабжения.

Предназначено для студентов, обучающихся в бакалавриате по направлению 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника.

Рецензент.,  
к.т.н., доцент В.А.Ковязин

Методические предписания для студентов по выполнению курсовой работы рассмотрены и одобрены на заседании кафедры автоматизации, информационных и инженерных технологий ЧФ ПНИПУ «5» декабря 2022 года, протокол № 14.

Методические предписания к выполнению курсовой работы рекомендованы методической комиссией ЧФ ПНИПУ для использования в учебном процессе ( протокол № 4 от 29.12.2022 )

©Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет  
Чайковский филиал, 2022  
©Русских Т.И., 2022

## ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ЛЭП	линия электропередачи
ГПП	Главная понизительная подстанция
ТП	Трансформаторная подстанция
УН	Узел нагрузки
ВВ	Высоковольтный выключатель
АВ	Автоматический выключатель
РТП	Распределительная трансформаторная подстанция
ПУЭ	Правила устройства электроустановок
ЭС	Электрическая система
СИП	Самонесущий изолированный провод
КЛ	Кабельная линия
ВЛ	воздушная линия
ПБВ	Переключение без возбуждения
РПН	Регулирование под нагрузкой

# 1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Данные предписания составлены применительно к курсовым работам, выполняемых студентами, обучающимися по направлению подготовки 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника», по профилю «Электроснабжение». Основная цель пособия – оказать методическую помощь студентам при выполнении курсовой работы по дисциплине «Электроэнергетическое оборудование».

Настоящие предписания содержат задание на курсовую работу, которые охватывают комплекс вопросов программы курса «Электроэнергетическое оборудование».

## 1.1 Цель и задачи курсовой работы

Целью курсовой работы является закрепление и углубление знаний, полученных студентами при изучении теоретического курса дисциплины «Электроэнергетическое оборудование»

В процессе работы над курсовой студент приучается к рациональному использованию теоретических сведений и справочных материалов при решении вопросов проектирования как отдельных узлов электроустановки, так и подстанции в целом, получает навыки решения ряда задач, возникающих при проектировании электроустановок: выбора основного оборудования электрических станций и подстанций, разработки схем их первичных цепей, компоновке оборудования на территории распределительного устройства и т. д. Работая над курсовой, студент должен овладеть приемами использования полученных теоретических знаний при решении конкретных задач инженерной практики. Оформляя результаты работы над проектом, студент должен научиться четко и в краткой форме обосновать в пояснительной записке все принятые решения, технически грамотно оформлять графическую часть проекта.

## 1.2. Состав курсовой работы

Курсовая работа состоит из двух частей. Первая часть включает в себя вопросы расчета электрических нагрузок (выбора проводов и кабелей, силовых трансформаторов). Вторая посвящена расчету потерь напряжения и разработке предложения для достижения регламентируемых нормативной документацией уровней отклонения напряжения у потребителя.

В курсовую работу включаются:

- титульный лист;
- аннотация;
- содержание;
- введение;
- основное содержание работы (пояснительная записка);
- заключение;
- список использованной литературы;
- приложения;
- графическая часть.

### 1.3. Требования к оформлению пояснительной записки

Расчетная часть курсовой работы выполняется в виде пояснительной записки в полном соответствии с [1] и ЕСКД.

Оформление и содержание курсовой работы должно отвечать требованиям действующих ГОСТов, норм, Правил устройства электротехнических установок, современной системе обозначения единиц (СИ). Работы оформляются на стандартных листах формата А4, заполненных с одной стороны через полтора интервала. Шрифт *Times New Roman* 14 пт междустрочный интервал 1,5. Выравнивание текста по ширине. Абзацный отступ 1,25 см. Заголовки выделяются полужирным. Латинские символы – курсивом. Для записи формул должен быть использован редактор формул (рекомендуется *MathType*).

Расчеты и данные к ним должны сопровождаться краткими пояснениями и ссылками на литературу. Ссылки на литературу производят в квадратных скобках, например [3], [7, §2.1], [6, кн. II, с. 215].

Формулам в тексте придается номер в круглых скобках, выровненных по правому полю страницы. Ссылки в тексте на порядковый номер формулы также даются в круглых скобках, например: «... ток плавкой вставки, вычисленной по формуле (28), ...».

При расчетах формулы сначала производятся в буквенном выражении, а затем в цифровом, после чего сразу пишется ответ. Многократно повторяющиеся расчеты приводятся один раз, а результаты сводятся в таблицы. Небольшие таблицы располагают за абзацем, где была сделана ссылка на таблицу. Таблицы, занимающие больше половины страницы, выносятся на следующий отдельный лист. Ссылки в тексте на таблицы дают в сокращенном виде: табл. 1, табл. 5.2. В самой таблице, в верхнем левом углу указывают номер и название таблицы: Таблица 1 – ., Таблица 5.2 – ...

Сокращение слов в таблицах не допускается.. Таблицы должны быть обязательно разлинованы по вертикали.

Текст должен быть лаконичным, логически связанным, расчеты после подробного изложения примера сводятся в таблицы указанной формы. Следует избегать изложения общеизвестных положений, например, по конструкции, принципу действия устройств и т. п.

В пояснительной записке должны быть приведены рисунки и схемы, иллюстрирующие суть изложения. Формулы должны быть вписаны аккуратно.

Список литературы приводится в конце работы и оформляется строго в установленной форме.

Объем пояснительной записки должен составлять 20–30 страниц, выполненных на белой писчей бумаге формата А4.

Перечень вопросов, подлежащих рассмотрению в курсовой работе, а также примерные сроки их выполнения приведены в задании (прил. 1).

#### 1.4 Требования к оформлению графической части курсовой работы

Графическая часть курсовой работы содержит 1 лист формата А2, где размещаются: расчетная схема, схема электрической сети, эпюры напряжения в узлах электрической цепи для всех рассчитываемых периодов без учета и с учетом компенсации потерь напряжения при встречном регулировании.

На расчетной схеме в соответствии с действующими ГОСТами ЕСКД и [1] изображаются все выбранные элементы системы электроснабжения с указанием их типа и номинальных параметров. Кроме того наносятся значения мощностей на участках цепи в режиме зимний максимум

#### 1.5 Защита курсовой работы

Полностью оформленные материалы курсовой работы представляются студентом

руководителю в сроки, установленные графиком проектирования для курсовой работы. После проверки, а при необходимости и после доработки, курсовая работа представляется к защите. Защита курсовой работы происходит в присутствии комиссии в составе трех человек – руководителя и преподавателей дисциплин цикла. При защите студент должен сделать краткий доклад по результатам работы и ответить на предложенные ему вопросы.

Курсовая работа предъявляется до зачетной недели.

## 2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

На рисунке 1 приведена расчетная схема электрической сети, включающая главную понизительную подстанцию (ГПП), распределительную трансформаторную подстанцию (РТП) и трансформаторную подстанцию (ТП). Согласно варианту по таблице 1 выбирается детализированный в виде получасовых максимумов график активной нагрузки для ТП ( $P_3+jQ_3$ ) в различных режимах работы, а также коэффициенты мощности.

В таблице 2 представлены данные по потреблению РТП ( $P_2+jQ_2$ ) и дополнительным нагрузкам ГПП ( $P_1+jQ_1$ ) в виде среднеквадратичных нагрузок за смену и уровни напряжения на источнике питания в различных режимах работы относительно номинального.

В таблице 3 представлены значения номинальных напряжений различных частей сети, а также длины ВЛ и КЛ. Тема курсового проекта указывается как «Выбор электроэнергетического оборудования и регулирование напряжения в распределительной сети  $U_1/U_2/U_3$  кВ» (Уровни напряжения следует указать согласно варианту).

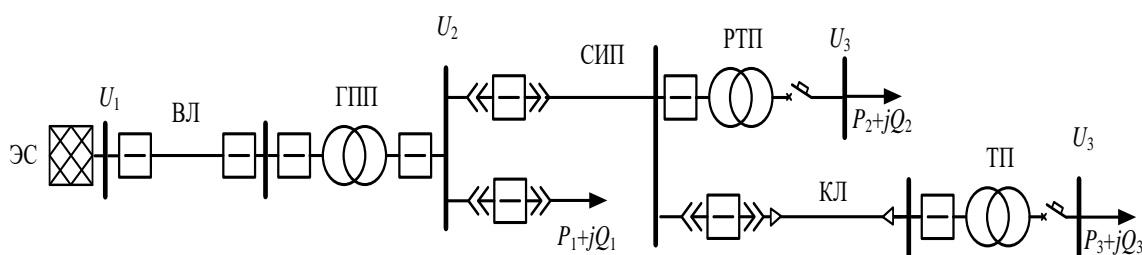


Рисунок 1 – Расчетная схема



Таблица 1 – Детализированный график нагрузки за смену на шинах ТП

Вариант	Режим	Получасовые максимумы нагрузки $P_3$ , кВт																$\cos\varphi_3$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1, 2, 3, 4, 5	Лето min	79	72	69	66	60	54	49	53	52	53	52	47	50	53	53	48	0,79
	Лето max	105	105	109	99	90	96	102	102	109	104	102	96	90	89	86	92	0,79
	Зима min	80	74	67	63	57	62	61	61	65	59	59	56	58	58	59	60	0,78
	Зима max	109	110	100	102	97	88	96	104	103	94	102	96	97	93	102	102	0,66
6, 7, 8, 9, 10	Лето min	161	173	187	184	168	184	194	178	181	174	162	178	169	164	176	175	0,71
	Лето max	196	178	171	176	165	178	182	189	188	185	187	169	183	171	185	182	0,75
	Зима min	164	152	143	144	149	145	149	159	167	151	147	157	170	156	168	182	0,72
	Зима max	201	216	209	200	212	211	208	218	222	224	222	231	229	210	195	202	0,82
11, 12, 13, 14, 15	Лето min	35	38	38	39	40	38	36	33	36	34	37	37	41	40	37	38	0,63
	Лето max	50	48	47	49	51	48	47	50	47	43	47	49	45	45	45	46	0,84
	Зима min	43	46	47	51	48	49	44	47	50	45	43	45	41	44	44	44	0,81
	Зима max	56	50	55	50	47	50	52	56	51	53	49	51	54	49	46	44	0,79
16, 17, 18, 19, 20	Лето min	131	124	112	110	104	95	88	92	89	89	85	80	87	91	86	87	0,79
	Лето max	158	168	170	177	180	172	167	165	168	165	149	162	151	144	134	128	0,64
	Зима min	146	135	125	123	126	115	104	109	115	124	133	133	138	133	139	146	0,61
	Зима max	188	191	182	166	174	165	156	151	158	171	154	154	160	158	151	146	0,73
21, 22, 23, 24, 25	Лето min	36	37	41	42	38	40	44	46	47	44	41	42	43	41	44	41	0,72
	Лето max	41	41	45	48	51	49	54	50	54	59	63	59	59	63	59	56	0,65
	Зима min	37	33	34	31	28	29	28	28	25	28	30	28	27	29	32	33	0,78
	Зима max	43	46	44	45	46	46	41	37	40	40	40	39	37	35	34	34	0,74

Таблица 2 – Уровни напряжения и нагрузки

Режим	Напряжение на источнике, о.е.		Среднеквадратичные мощности							
	Нечетный вариант	Четный вариант	Нечетный вариант				Четный вариант			
			$P_1$ , кВт	$Q_1$ , квар	$P_2$ , кВт	$Q_2$ , квар	$P_1$ , кВт	$Q_1$ , квар	$P_2$ , кВт	$Q_2$ , квар
Лето min	1	0,95	10000	6500	900	600	7000	4000	250	100
Лето max	1,02	0,98	14000	7000	1500	750	11000	5000	500	150
Зима min	1,02	1,03	11000	6800	1000	700	9500	4000	350	150
Зима max	1,11	1,07	16500	9000	1600	850	13200	5000	600	400

Таблица 3 – Параметры распределительной сети

Вариант	Номинальное напряжение, кВ			Длина, км		
	$U_1$	$U_2$	$U_3$	ВЛ	СИП	КЛ
1, 6, 11, 16, 21	20	6	0,4	10	1	2
2, 7, 12, 17, 22	35	6	0,4	15	2	0,5
3, 8, 13, 18, 23	35	10	0,4	25	2,5	1
4, 9, 14, 19, 24	110	6	0,4	30	1	1,5
5, 10, 15, 20, 25	110	10	0,4	35	2	3

**Задание:**

1) По заданной схеме произвести расчет нагрузок трансформаторов и питающих линий по среднеквадратичной нагрузке в режиме летнего и зимнего максимума;

2) Произвести выбор оборудования кабельной и воздушной линий, трансформаторов и коммутационной аппаратуры.

3) Проверить возможность снижения сечения кабельной линии с учетом неравномерности нагрева жилы током нагрузки в режиме летних и зимних максимальных нагрузок (следует принять температуру наружного воздуха летом  $+35^{\circ}\text{C}$ , зимой  $-5^{\circ}\text{C}$ );

4) Рассчитать потери напряжения и построить эпюру отклонения напряжения в сети в четырех режимах работы: летний минимум, летний максимум, зимний минимум, зимний максимум.

5) Уточнить выбор питающих трансформаторов с учетом требуемых диапазонов регулирования напряжения.

6) Выбрать закон регулирования напряжения для заданных параметров сети в различных режимах работы;

7) Построить результирующую эпюру напряжения с учетом регулирования для каждого из режимов работы;

8) Сделать выводы по проделанной работе.

### 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

#### 3.1 Расчет нагрузок

С целью выбора оборудования трансформаторных подстанций и проводников ВЛ и КЛ необходимо выполнить расчет нагрузок. При наличии графика нагрузок для выбора оборудования требуется определить среднеквадратичные нагрузки:

1) Активная мощность:

$$P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}}, \quad (1)$$

или при равенстве интервалов усреднения

$$P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i^2}{n}} \quad (2)$$

где  $n$  – количество интервалов усреднения нагрузок на графике,  $P_i$  – мощность  $i$ -го интервала,  $t_i$  – время  $i$ -го интервала.

2) Реактивная мощность:

$$Q_{\text{ск}} = \frac{P_{\text{ск}} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi}, \quad (3)$$

где  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности для данного графика.

3) Полная мощность:

$$S_{\text{ск}} = \frac{P_{\text{ск}}}{\cos \varphi} = \sqrt{P_{\text{ск}}^2 + Q_{\text{ск}}^2}. \quad (4)$$

4) Ток нагрузки:

$$I_{\text{ск}} = \frac{S_{\text{ск}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}}, \quad (5)$$

где  $U_n$  – номинальное напряжение участка сети.

Для вышестоящих участков сети параллельные нагрузки суммируются. Расчеты проводятся аналогично.

Результаты расчетов сводятся в таблицу

Таблица 4 Результаты расчета нагрузок сети

Режим	S <sub>гпш</sub> , кВА	P <sub>гпш</sub> , кВт	Q <sub>гпш</sub> квар	I <sub>гпш</sub> , А	I <sub>гпш</sub> , А	S <sub>сип</sub> , кВА	P <sub>сип</sub> , кВт	Q <sub>сип</sub> квар	I <sub>сип</sub> , А	S <sub>ртп</sub> кВА	P <sub>ртп</sub> , кВт	Q <sub>ртп</sub> , квар	I <sub>ртп</sub> А	I <sub>ртп</sub> А	S <sub>тп</sub> , кВА	P <sub>тп</sub> , кВт	Q <sub>тп</sub> , квар	I <sub>тп</sub> А	I <sub>тп</sub> , А	
Зима мах																				
Зима мин																				
Лето мах																				
Лето мин																				

### 3.2 Выбор оборудования

Согласно рассчитанным величинам токовых нагрузок требуется произвести выбор оборудования:

#### 3.1.1 Выбор проводников ЛЭП

Для выбора сечения и проверки проводов по нагреву токами нагрузки пользуется справочным таблицам предельных допустимых токов, составленными для различных марок проводов и кабелей и условий прокладки в ПУЭ.

Рекомендуется при выборе проводов и кабелей использовать информацию с сайта [www.ruscable.ru](http://www.ruscable.ru)

<https://www.ruscable.ru/info/wire/>

Нормальной температурой окружающей среды при прокладке проводов и кабелей на воздухе принимаем +25°C, при прокладке кабелей в земле и воде +15°C. При значениях температур, отличающихся от указанных, допустимые нагрузки умножаются на поправочный коэффициент.

Сечение провода или жилы кабеля выбирается с соблюдением условия:

$$k_{п \text{ доп.}} I_{ск} \geq I_{ск} \tag{6}$$

или

$$I_{\text{доп.}} \geq \frac{I_{\text{ск}}}{k_{\text{п}}}, \quad (7)$$

где  $I_{\text{доп.}}$  – допустимый длительный ток;  $k_{\text{п}}$  – поправочный коэффициент (или произведение коэффициентов, если их несколько).

При выборе сечений проводов и кабелей следует учитывать, что допустимая по нагреву плотность тока с увеличением диаметра проводника из-за ухудшения условий охлаждения падает. Поэтому при больших сечениях целесообразно вместо одного кабеля выбирать несколько кабелей более низкого сечения.

Некоторые марки кабельных линий предназначены для соответствующих уровней напряжений, что обуславливает снижение допустимого тока согласно ПУЭ. Поэтому необходимо проводить проверку по номинальному напряжению:

$$U_{\text{н}} \geq U_{\text{сети}} \quad (8)$$

### 3.1.2 Выбор силовых трансформаторов

Выбор силовых трансформаторов производится с учетом их допустимой недогрузки:

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{S_{\text{ск}}}{K_3 \cdot N}, \quad (9)$$

где  $K_3$  – коэффициент загрузки, принимается равным 0,85 для однотрансформаторных подстанций;  $N$  – количество трансформаторов.

Номинальное напряжение высокой и низкой стороны напряжения должны быть также проверены по формуле (8).

### 3.1.3 Выбор коммутационных аппаратов

Высоковольтные выключатели (ВВ) служат для коммутации элементов системы электроснабжения в различных режимах работы, однако сигнал на отключение поступает извне. Поэтому с точки зрения проверки оборудования по термическому действию токов нагрузки достаточно выбрать ВВ по номинальным параметрам:

$$I_{\text{ном.ВВ}} \geq I_{\text{ск}} \quad (10)$$

Автоматические выключатели (АВ) характеризуются номинальным напряжением и номинальным током, а их расцепители – номинальным током и током срабатывания (уставки).

Выбор автоматов производится с учетом следующих требований:

Номинальный ток АВ, А:

Номинальный ток расцепителя любого вида, А:

$$I_{н.р} \geq I_p \quad (12)$$

### 3.3 Проверка кабельной линии с учетом неравномерности нагрева

После выбора оборудования требуется проверить кабельную линию, питающую ТП на возможность снижения сечения с учетом неравномерности теплового воздействия нагрузки. Для этого следует определить по [1] постоянную времени нагрева проводника  $T_a$  и допустимые температуры нагрева проводников  $t_{доп}$  с выбранным типом изоляции, а по ПУЭ [2] определяется допустимый ток для проводника сечением ниже на одну ступень (например, для сечения 95 мм<sup>2</sup> на ступень ниже выбирается сечение 70 мм<sup>2</sup>).

По графику нагрузки определяется ток получасового максимума  $i$ -го участка:

$$I_i = \frac{P_i}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} \quad (13)$$

Определяется величина установившегося превышения температуры проводника на участке:

$$\tau_{уст\ i} = (t_{доп} - t_{ОСн}) \left( \frac{I_i}{I_{доп}} \right)^2 \quad (14)$$

$t_{ОСн}$  – нормируемая температура окружающей среды, для которой выбран допустимый ток.

В начальный момент времени температура проводника принимается равной температуре окружающей среды ( $\tau_{0\ i\ i=1} = 0$ ) и определяется превышение в конце  $i$ -го участка:

$$\tau_i = \tau_{устi} \cdot \left(1 - e^{-\frac{30}{T_a}}\right) + \tau_{0i} \cdot e^{-\frac{30}{T_a}}. \quad (15)$$

Превышение в конце участка становится начальным для следующего и расчет продолжается для всех участков.

$$\tau_i = \tau_{0i+1}. \quad (16)$$

После окончания первой итерации расчета необходимо уточнить расчет приняв за начальное значение превышения конечное его значение на первой итерации:

$$\tau_{0i+1}^{<k+1>} = \tau_n^{<k>}. \quad (17)$$

Далее по графику определяется максимальное значение превышения и соответствующая ему температура кабеля с учетом температуры окружающей среды в зависимости от режима работы:

$$t_{\max} = \tau_{\max} + t_{OC} \quad (18)$$

На завершающем шаге строится график нагрева и делается заключение о возможности снижения сечения в данном режиме работы. То же самое повторяется как для летнего максимума, так и для зимнего максимума.

### 3.4 Расчет отклонений напряжения

Определяются параметры элементов:

1) Линии:

$$\begin{aligned} R &= r_0 \cdot l \\ X &= x_0 \cdot l \end{aligned} \quad (19)$$

где  $r_0$ ,  $x_0$  – удельные сопротивления проводников, принимаются согласно паспортным данным на кабельные и воздушные линии или согласно справочным таблицам ГОСТ 28249-93.

2) Трансформаторы:

$$R_T = \Delta P_{кз} \cdot \frac{U_{ВН}^2}{S_{НОМ}^2} \cdot 1000$$

$$X_T = \sqrt{\left( U_{кз} \cdot \frac{U_{ВН}^2}{S_{НОМ}} \cdot 10 \right)^2 - R_T^2} \quad (20)$$

где  $\Delta P_{кз}$  – потери короткого замыкания двухобмоточного силового трансформатора напряжения, кВт;  $U_{ВН}$  – номинальное напряжение стороны ВН, кВ;  $S_{НОМ}$  – номинальная мощность двухобмоточного силового трансформатора напряжения, кВА;  $U_{кз}$  – напряжение короткого замыкания двухобмоточного силового трансформатора напряжения, %.

Для каждого участка сети рассчитываются относительные потери напряжения:

$$\Delta U_i, \% = \frac{P_i \cdot R_i + Q_i \cdot X_i}{U_{НОМ}^2} 100. \quad (21)$$

Отклонение напряжения для каждого j-го узла определяется как:

$$\delta U_j, \% = \delta U_{сети} - \sum_{i=1}^n \Delta U_i, \quad (22)$$

где  $\delta U_{сети}$  – отклонение напряжения на источнике питания; n – количество участков до j-го узла.

## **2.5 Уточнение выбора питающих трансформаторов с учетом требуемых диапазонов регулирования напряжения.**

При высоких потерях выбранного диапазона регулирования трансформаторов может не хватить для приведения отклонения напряжения к требуемому уровню, поэтому необходимо уточнить модель трансформатора с учетом заданных условий.

## **2.6 Построение результирующих эпюр напряжения с учетом регулирования для каждого из режимов работы**

Пример эпюры напряжения представлен на рисунке 2.



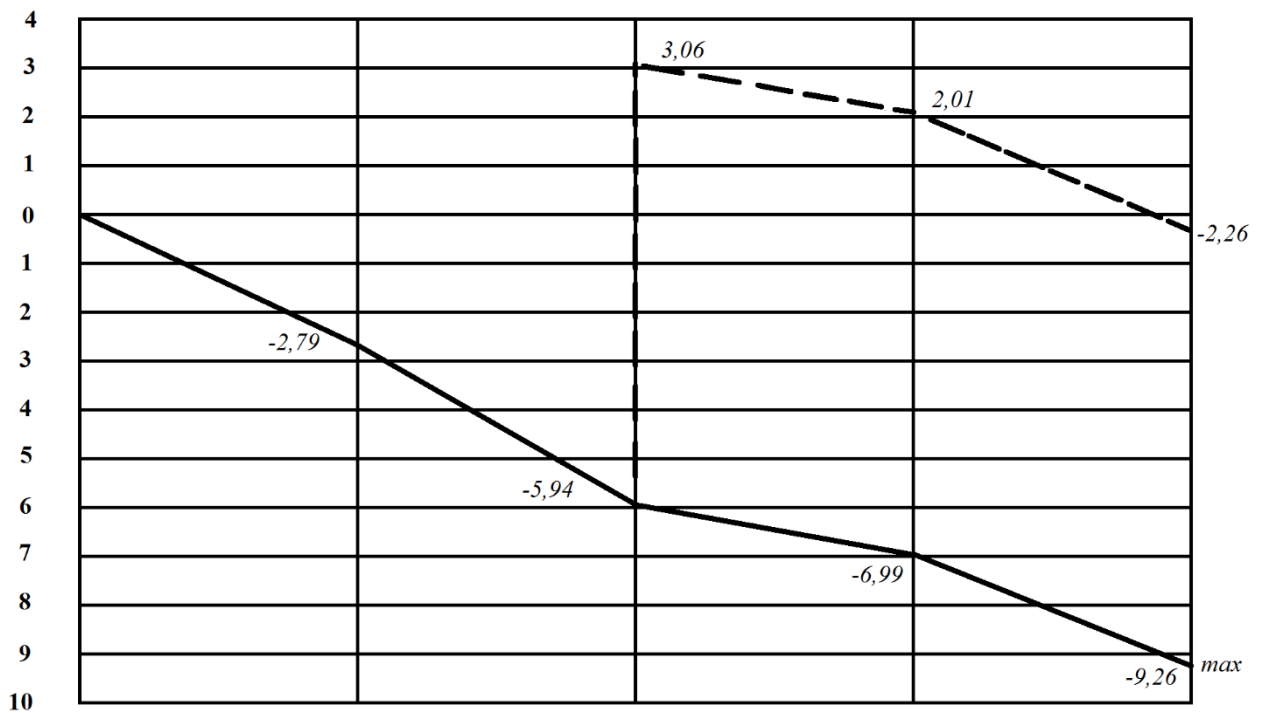


Рисунок 2 – Эпюра напряжения с учетом регулирования

По справочнику определяется диапазон регулирования для трансформаторов с РПН и ПБВ. Определяется оптимальный диапазон регулирования напряжения на нагрузке. Рекомендуемым значением является [-5%; 5%].

Определяется требуемый диапазон регулирования для трансформатора РПН равный  $\max(\delta U_{\max.\text{зима}} - \delta U_{\min.\text{зима}}; \delta U_{\max.\text{лето}} - \delta U_{\min.\text{лето}})$ .

Согласно максимальному отклонению напряжения для каждого из режимов определяются две ближайшие ступени регулирования: напрямер, при отклонении 1,3% выбираются ступени РПН +1x2,5% и 0x2,5%.

Для каждой из выбранных ступеней регулирования определяется коэффициент трансформации:

$$K_{\text{тр}(St)} = \frac{U_{\text{ВНном}}}{U_{\text{ННном}}} \left( 1 - \frac{St \cdot D}{100} \right), \quad (23)$$

где  $U_{\text{ВНном}}$ ,  $U_{\text{ННном}}$  – номинальные напряжения первичной и вторичной обмотки трансформатора, кВ;  $St$  – ступень регулирования РПН/ПБВ (с учетом знака);  $D$  – шаг регулирования напряжения, % (для ПБВ равный 2,5 %).

Определяется напряжение на вторичной обмотке трансформатора для рассматриваемой ступени:

$$U_{\text{НН}(St)} = \left( 1 - \frac{\delta U_{\text{НН}}}{100} \right) \frac{U_{\text{Iном}}}{K_{\text{тр}(St)}}, \quad (24)$$

где  $\delta U_{\text{НН}}$  – отклонение напряжения на вторичной обмотке трансформатора без учета регулирования, % (определяется по эюре);  $U_{\text{1ном}}$  – номинальное напряжение сети первичной обмотки трансформатора, кВ (трансформатор может иметь напряжение номинальное не равное напряжению сети  $U_{\text{1ном}} \neq U_{\text{ВНном}}$ ).

Определяется отклонение напряжение с учетом регулирования:

$$\delta U_{\text{НН}(St)} = \frac{U_{\text{НН}(St)} - U_{\text{2ном}}}{U_{\text{2ном}}} 100, \quad (25)$$

где  $U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение сети за трансформатором, кВ (трансформатор может иметь напряжение номинальное не равное напряжению сети  $U_{\text{2ном}} \neq U_{\text{ННном}}$ ).

Оставшаяся часть эюры строится параллельным переносом через точку  $\delta U_{\text{НН}(St)}$ . Аналогично строится эюра для второй рассматриваемой ступени регулирования. С учетом рассматриваемого оптимального диапазона регулирования определяется оптимальное значение ступени регулирования, при этом требуется пояснить выбор той, или иной ступени регулирования.

Не следует упускать из внимания возможность частичного регулирования нагрузки при помощи трансформатора ПБВ при переходе с одного сезонного режима на другой.

## Задание

на выполнение курсовой работы по дисциплине

«Электроэнергетическое оборудование»

на тему «Выбор электроэнергетического оборудования и регулирование

напряжения в распределительной сети  $U_1/U_2/U_3$  кВ»

студенту группы \_\_\_\_\_

- 1) По заданной расчетной схеме произвести расчет нагрузок трансформаторов и питающих линий по среднеквадратичной нагрузке в режиме летнего и зимнего максимума;

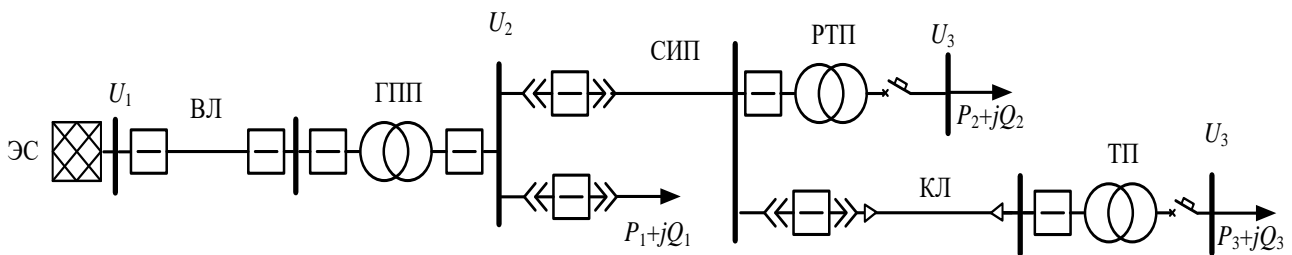


Рисунок 1 – Расчетная схема

- 2) Произвести выбор оборудования кабельной и воздушной линий, трансформаторов и коммутационной аппаратуры.
- 3) Проверить возможность снижения сечения кабельной линии с учетом неравномерности нагрева жилы током нагрузки в режиме летних и зимних максимальных нагрузок (следует принять температуру наружного воздуха летом  $+35^{\circ}\text{C}$ , зимой  $-5^{\circ}\text{C}$ );
- 4) Рассчитать потери напряжения и построить эпюру отклонения напряжения в сети в четырех режимах работы: летний минимум, летний максимум, зимний минимум, зимний максимум.
- 5) Уточнить выбор питающих трансформаторов с учетом требуемых диапазонов регулирования напряжения.
- 6) Выбрать закон регулирования напряжения для заданных параметров сети в различных режимах работы;
- 7) Построить результирующую эпюру напряжения с учетом регулирования для каждого из режимов работы;

8) Сделать выводы по проделанной работе.

Таблица 1 – Детализированный график нагрузки за смену на шинах ТП

Вариант	Режим	Получасовые максимумы нагрузки $P_3$ , кВт																$\cos\varphi_3$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
	Лето min																	
	Лето max																	
	Зима min																	
	Зима max																	

Таблица 2 – Уровни напряжения и нагрузки

Режим	Напряжение на источнике, о.е.	Среднеквадратичные мощности			
		$P_1$ , кВт	$Q_1$ , квар	$P_2$ , кВт	$Q_2$ , квар
Лето min					
Лето max					
Зима min					
Зима max					

Таблица 3 – Параметры распределительной сети

Вариант	Номинальное напряжение, кВ			Длина, км		
	$U_1$	$U_2$	$U_3$	ВЛ	СИП	КЛ

Задание выдал \_\_\_\_\_.

## Рекомендуемая литература

1. Кабышев А.В. Электроснабжение объектов. Ч.1. Расчет электрических нагрузок, нагрев проводников и электрооборудования: Учебное пособие / А.В. Кабышев.– Томск: Изд-во ТПУ, 2007.– 185 с.
2. Правила устройства электроустановок. Издание седьмое.
3. Федоров А.А., Ристхейн Э. М. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебник для вузов – М.: Энергия, 1981.
4. Электротехнический справочник: в 4 т. / Под общ. ред. В.Г. Герасимова.– 9-е изд. Москва: изд. МЭИ, 2003. – 440
5. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб.- М.: Мастерство, 2001.
6. Ежков В.В., Зарудский Г.К., Зуев Э.Н. Электрические системы и сети в примерах и иллюстрациях: Учеб.- М.: Высш. шк, 1999.
7. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Под ред. А. А. Федорова и Г. В Сербиновского. Кн. 1 и 2 - М.: Энергия, 1973.
8. Карпов Ф. Ф., Козлов В. Н. Справочник по расчету проводов и кабелей. - М.: Энергия, 1969.
9. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения: Справочные материалы по электрооборудованию: Учеб. пособие / Том. политехн. ун-т. – Томск, 2005.

## Приложение 1

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Чайковский филиал  
федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования

### «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Кафедра Автоматизации, информационных и инженерных технологий  
Направление 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
Направленность Электроснабжение

## КУРСОВАЯ РАБОТА

на тему «Выбор электроэнергетического оборудования и  
регулирование напряжения в распределительной сети 20/6/0.4 кВ»

по дисциплине «Электроэнергетическое оборудование»

Выполнил:

студент группы \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(Фамилия Имя Отчество)

Руководитель:

\_\_\_\_\_  
(должность, ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_  
(Фамилия Имя Отчество)

\_\_\_\_\_  
Оценка

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г

\_\_\_\_\_  
(подпись)

## Пример аннотации курсовой работы

### **АННОТАЦИЯ**

Пояснительная записка объёмом 21 лист, 11 рисунков, 25 таблиц, 1 приложение.

**ПРОЕКТ, РАБОТА ПРЕКТА, ЭНЕРГЕТИКА, КАБЕЛЬНАЯ ЛИНИЯ, ПОТЕРИ НАПРЯЖЕНИЯ, СИЛОВОЙ ТРАНСФОРМАТОР.**

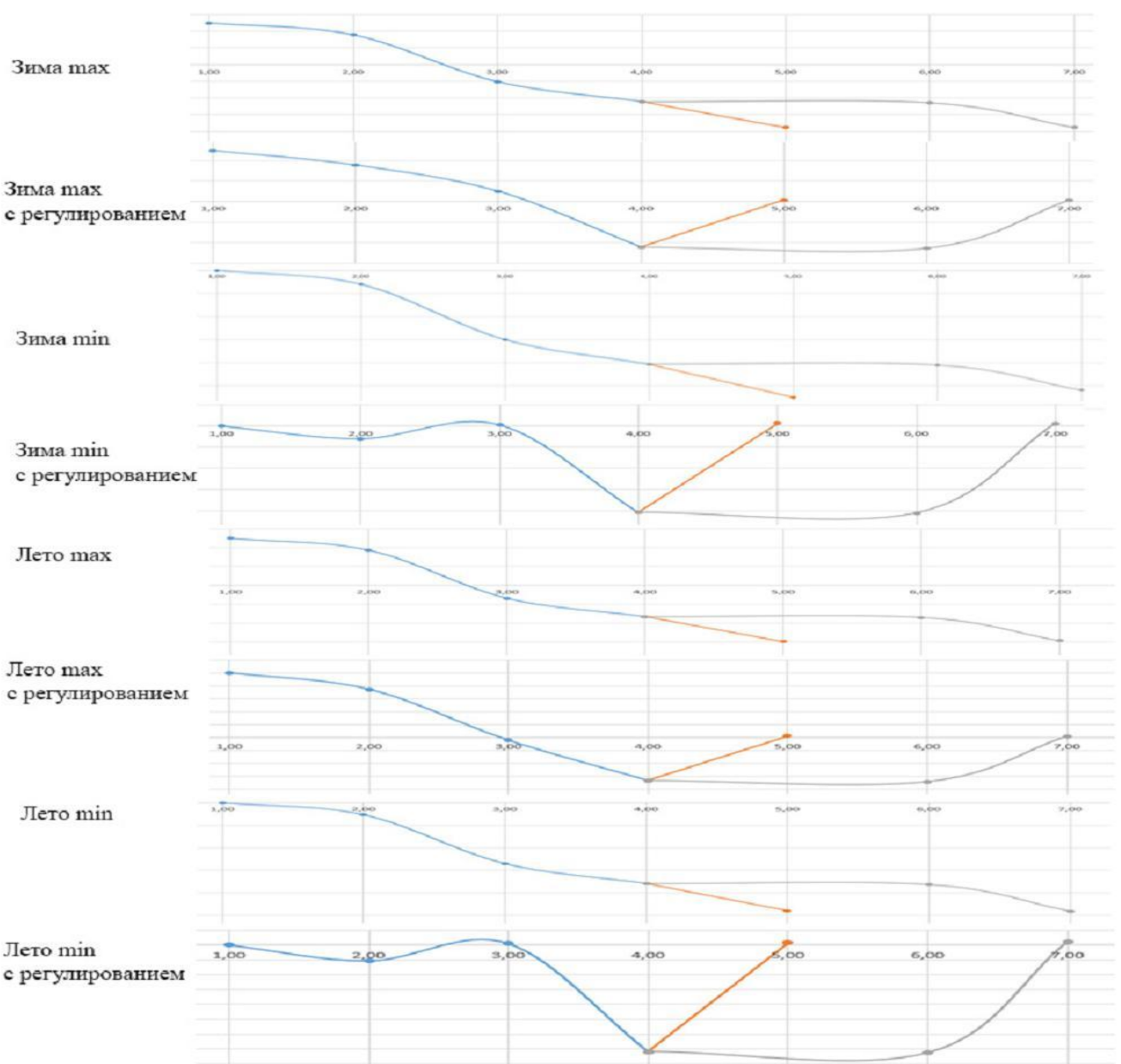
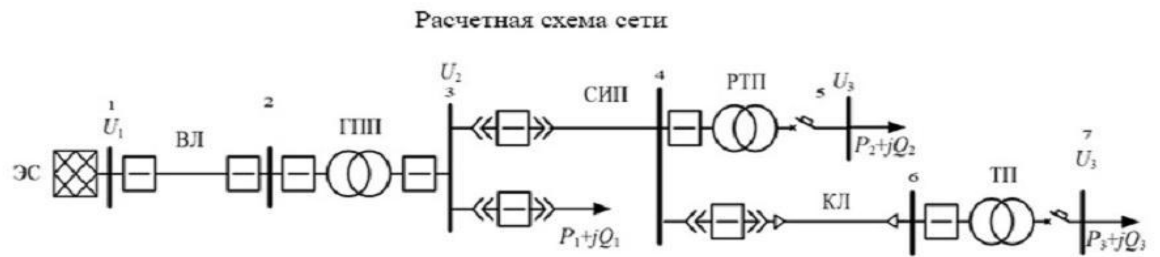
Цель работы – спроектировать распределительную электроэнергетическую сеть напряжением 20/6/0.4 кВ.

Объектом исследования и разработки является электроэнергетическое оборудование и режимы его работы.

В ходе работы был проведен расчет электрических нагрузок (выбор проводов и кабелей, силовых трансформаторов), потерь напряжения и разработаны предложения для достижения регламентируемых нормативной документацией уровней отклонения напряжения у потребителя.

Результаты расчета могут быть использованы в учебных расчетах, при выполнении выпускной квалификационной работы.

## Приложение А Графическая часть курсового проекта



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



## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Исходные данные.....	4
2 Расчет нагрузок	5
3 Выбор оборудования .....	13
4 Проверка кабельной линии с учетом неравномерности нагрева	16
5 Расчет отклонений напряжения	16
6 Построение результирующей эпюры напряжения с учетом регулирования для каждого из режимов работы .....	17
Выводы.....	18
Заключение.....	20
Графическая часть проекта.....	23
Используемая литература .....	23