

2363

В. Т. Федин  
М. И. Фурсанов

# ВЫБОР РЕЖИМОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ



Министерство образования Республики Беларусь  
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Электрические системы»  
В.Т. Федин, М.И. Фурсанов

## **ВЫБОР РЕЖИМОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ**

Учебно-методическое пособие к курсовому проекту по дисциплине  
«Оперативное управление в энергосистемах»

Минск  
2002

УДК 621.311(076)

Ф 32

Федин В. Т., Фурсанов М.И.

Выбор режимов регулирования напряжения в распределительной электрической сети: Учеб. метод. пособие к курсовому проекту по дисциплине "Оперативное управление в энергосистемах"/Под ред. О.А. Жерко.

В работе изложены принципы выбора режимов регулирования напряжения в центрах питания распределительных сетей и рациональных ответвлений трансформаторов трансформаторных подстанций 6-10 кВ. Подход реализован без учета и с учетом статических характеристик нагрузки. Описано примерное задание на курсовое проектирование, даны методические рекомендации по выполнению курсового проекта. Приведен пример расчета. Дано описание программы расчета на ЭВМ.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов очного и заочного отделений специальностей Т.01.03 «Автоматизация и управление энергетическими процессами», Т.01.01 «Электроэнергетика», I 43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» (по новому классификатору специальностей 2001 г.). Может быть использовано слушателями центров повышения квалификации инженеров-электриков, а также инженерами диспетчерских служб предприятий и районов электрических сетей.

Рецензент

В. Г. Прокопенко

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	4
1.ПРИМЕРНОЕ ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ .....	4
2.РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ 10(6) кВ И УЧАСТКОВ СЕТИ .....	8
3.СОСТАВЛЕНИЕ ФУНКЦИЙ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАГРУЗКИ .....	11
4.ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ НЕЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ В ЦЕНТРЕ ПИТАНИЯ .....	14
5.РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ .....	14
6.ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ОТКЛОНЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ НА ШИНАХ 0,38 кВ ТП .....	16
7.ВЫБОР РЕЖИМА ВСТРЕЧНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ШИНАХ 10 (6) кВ ЦП .....	17
8.ВЫБОР ОТВЕТВЛЕНИЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТП .....	18
9.РАСЧЕТЫ РЕЖИМОВ НА ЭВМ .....	21
10.АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАГРУЗКИ НА РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ .....	22
11.ПРИМЕР РАСЧЁТА .....	22
12.ОПИСАНИЕ ПРОГРАММ НА ЭВМ “МИФ1” РАСЧЕТА РЕЖИМОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ И ИНСТРУКЦИЯ К ПОЛЬЗОВАНИЮ ЕЙ .....	30
ЛИТЕРАТУРА .....	42

## ПРЕДИСЛОВИЕ

От квалифицированного оперативного управления энергосистемой и электрическими сетями непосредственно зависит надёжность электроснабжения потребителей. Одной из важнейших задач оперативного управления на уровне электрических сетей, является задача обеспечения качества напряжения у потребителей, которое регламентируется межгосударственным стандартом. В свою очередь качество напряжения непосредственно связано с рациональным использованием имеющихся в сетях средств регулирования напряжения.

Данное учебно-методическое пособие направлено на то, чтобы привить студентам навыки практической работы по выбору рациональных режимов регулирующих устройств в распределительных сетях.

Пособие содержит описание методик для выбора параметров элементов сети, обеспечивающих требуемое качество напряжения, и программу расчета режимов на ЭВМ. Приведён пример расчета. Дано описание примерного задания на курсовое проектирование. Параграфы 1 – 11 подготовлены Фединым В.Т., параграф 12 – Фурсановым М.И. Содержание и технология проектирования вырабатывались авторами совместно.

Пособие предназначено для студентов специальностей Т.01.03 «Автоматизация и управление энергетическими процессами», Т.01.01 «Электроэнергетика», I 43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети».

Авторы надеются, что оно может быть востребовано на курсах повышения квалификации и переподготовки инженеров-электриков, инженерами диспетчерских служб предприятий и районов электрических сетей, аспирантами и магистрантами.

### 1. ПРИМЕРНОЕ ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Тема проекта. Выбор режимов регулирования напряжения в распределительной электрической сети.

Исходные данные для проектирования.

Задана схема распределительной электрической сети напряжением  $U_{\text{ном}}$  (10 или 6 кВ), питающейся от одного центра питания (ЦП) с трансформатором с РПН и содержащая 2-3 распределительные разветвленные линии (РЛ) с 10-20 трансформаторными подстанциями (ТП) 10 (6)/0.38 кВ. Заданы параметры сети: длина участков сети, их марки проводов, номинальные мощности трансформаторов 10 (6)/0.38 кВ.

К шинам ЦП присоединена однородная нагрузка, и нагрузки ТП изменяются во времени одинаково. Нагрузка по фазам на всех участках сети симметрична.

Состав потребителей каждой ТП характеризуется данными, приведенными в табл. 1. Варианты заданий по составу потребителей даны в табл. 2.

Таблица 1

## Состав потребителей ТП

№ пп.	Наименование электроприемника	Доли мощности в суммарной нагрузке ТП	
		активной	реактивной
1	Лампы накаливания	$n_{л.н} = 0,4$	$n_{л.н} = 0$
2	Люминесцентные лампы	$n_{л.л} = 0,1$	$n_{л.л} = 0,1$
3	Нагревательные приборы	$n_{н.п} = 0,1$	$n_{н.п} = 0$
4	Телевизоры	$n_{т} = 0,2$	$n_{т} = 0,3$
5	Асинхронные электродвигатели	$n_{а.д} = 0,2$	$n_{а.д} = 0,6$

Возможно задание и другого состава электроприёмников.

Номинальные напряжения и диапазоны регулирования трансформаторов ТП с ПБВ:  $10 \pm (2 \times 2,5)\% / 0,4$  кВ или  $6 \pm (2 \times 2,5)\% / 0,4$  кВ.

Предельно допустимые (возможные) наибольшие и наименьшие режимные напряжения на шинах 10 (6) кВ ЦП:  $U_{нб} = 1,15U_{ном}$  (11,5 или 6,9 кВ) и  $U_{нм} = 0,95U_{ном}$  (9,5 и 5,7 кВ). Из этого диапазона напряжений требуется выбрать напряжения по условию работы распределительной сети.

Суммарная нагрузка (мощность) ЦП со стороны 10(6) кВ в режиме наибольших нагрузок задана коэффициентом  $k_l$  в долях от суммарной номинальной мощности трансформаторов всех ТП.

Нагрузка (ток) всех ТП, подключённых к ЦП, пропорциональна номинальным мощностям их трансформаторов.

Отношение наименьшей нагрузки к наибольшей равно  $m$ . Во всех режимах  $\cos \phi$  принять одинаковым. Допустимые отклонения напряжения у электроприёмников во всех режимах равны  $\delta U_{доп} = \pm 5\%$ . Степень регулирования напряжения под нагрузкой на трансформаторах ЦП равна  $\delta U_{ст}$ , коэффициент чувствительности регулятора напряжения равен  $n$ . Потерю напряжения для всех ТП от шин 0,38кВ ТП до ближайшего электроприёмника в режиме наибольших нагрузок принять равной  $\Delta U_{ш.6}^*$ , а до наиболее удалённого электроприёмника -  $\Delta U_{ш.у}^*$ .

Численные значения  $U_{ном}$ ,  $k_l$ ,  $\cos \phi$ ,  $m$ ,  $n$ ,  $\delta U_{ст}$ ,  $\Delta U_{ш.6}^*$ ,  $\Delta U_{ш.у}^*$  принять из табл. 3 для заданного варианта.

Таблица 2  
Варианты исходных данных по составу потребителей ТП

Номер варианта	Доли мощности в суммарной нагрузке ТП									
	активной					реактивной				
	$p_{л.н}$	$p_{л.л}$	$p_{н.п}$	$p_{т}$	$p_{в.д}$	$p'_{л.н}$	$p'_{л.л}$	$p'_{н.п}$	$p'_{т}$	$p'_{в.д}$
1-5	0,4	0,1	0,1	0,2	0,2	0	0,1	0	0,3	0,6
6-10	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0	0,2	0	0,2	0,6
11-15	0,4	0,1	0,2	0,1	0,2	0	0,1	0	0,4	0,5
16-20	0,4	0,1	0,2	0,2	0,1	0	0,2	0	0,3	0,5
21-25	0,3	0,1	0,1	0,3	0,2	0	0,1	0	0,2	0,7
26-30	0,4	0,2	0,1	0,2	0,1	0	0,2	0	0,3	0,5

Варианты исходных данных к курсовому проекту

Номер варианта	$U_{\text{ном}}$ , кВ	$k_1$	$\cos\phi$	$m$	$n$	$\delta U_{\text{ст}}, \%$	$\Delta U'_{\text{ин.б}}$	$\Delta U'_{\text{ин.у}}$
1	10	0,7	0,92	0,25	1,3	1,78	0	5
2	10	0,65	0,91	0,2	1,2	1,78	2	6
3	10	0,6	0,9	0,3	1,4	1,78	1	5
4	10	0,55	0,93	0,25	1,5	1,78	0	6
5	10	0,5	0,94	0,2	1,6	1,78	1	6
6	10	0,8	0,94	0,2	1,2	1,5	0	6
7	10	0,75	0,93	0,25	1,3	1,5	2	6
8	10	0,65	0,92	0,3	1,4	1,5	1	5
9	10	0,6	0,91	0,25	1,5	1,5	2	5
10	10	0,55	0,9	0,2	1,6	1,5	2	6
11	10	0,4	0,9	0,15	1,3	1,78	0	6
12	10	0,45	0,91	0,2	1,2	1,78	1	6
13	10	0,55	0,92	0,25	1,4	1,78	2	6
14	10	0,6	0,93	0,15	1,2	1,78	0	5
15	10	0,65	0,91	0,2	1,3	1,78	0	6
16	10	0,7	0,92	0,15	1,3	1,5	0	6
17	10	0,65	0,91	0,2	1,2	1,5	0	5
18	10	0,6	0,9	0,2	1,4	1,5	1	6
19	10	0,55	0,93	0,15	1,2	1,5	1	5
20	6	0,5	0,91	0,25	1,3	1,5	2	6
21	6	0,7	0,9	0,2	1,2	1,78	0	5
22	6	0,65	0,92	0,15	1,3	1,78	0	6
23	6	0,6	0,91	0,25	1,4	1,78	1	5
24	6	0,55	0,93	0,25	1,3	1,78	2	6
25	6	0,5	0,92	0,2	1,2	1,78	1	6
26	10	0,55	0,9	0,15	1,3	1,5	0	6
27	10	0,7	0,92	0,25	1,4	1,5	1	6
28	10	0,65	0,93	0,2	1,2	1,5	1	5
29	10	0,6	0,94	0,15	1,3	1,5	1	5
30	10	0,5	0,91	0,2	1,2	1,5	0	5

Перечень вопросов, которые подлежат разработке.

1. Расчет параметров трансформаторов ТП и участков распределительной сети (активного и реактивного сопротивлений, токов, активных и реактивных мощностей каждой ТП).

2. Составление функций статических характеристик активной и реактивной мощности по каждой ТП.

3. Определение зоны нечувствительности автоматического регулятора напряжения трансформатора в центре питания.

4. Расчет режимов распределительной сети.

5. Определение допустимых отклонений напряжения на шинах 0.38 кВ ТП.

6. Выбор режима встречного регулирования напряжения на шинах 10 (6) кВ ЦП.

7. Выбор ответвлений трансформаторов ТП.

8. Расчеты режимов на ЭВМ при наибольших и наименьших нагрузках без учета и с учетом статических характеристик нагрузки.

9. Анализ влияния статических характеристик нагрузки на режимные параметры распределительной сети.

10. Выводы в обобщенном виде.

11. Графическая часть - вставляется в текст пояснительной записки и выполняется на листах любого формата. Она должна содержать: исходную схему сети с заданными параметрами, графическое изображение статических характеристик нагрузки, схемы сети с токораспределениями, полученными при ручном расчете, для режимов наибольших и наименьших нагрузок, схемы сети с режимными параметрами для режимов наибольших и наименьших нагрузок, полученными при расчетах на ЭВМ (без учета и с учетом статических характеристик нагрузки), таблицы с обобщенными результатами расчетов.

## 2. РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ 10(6) кВ И УЧАСТКОВ СЕТИ

На заданной схеме нумеруются узлы так, как показано на рис.1.

По заданным маркам проводов и длинам участков линий находят активные и реактивные сопротивления, используя справочные данные по удельным сопротивлениям  $r_0$  и  $x_0$ , взятые из банка данных программы МИФ1, файл SLEP.TXT (см. параграф 12). Результаты заносят в табл.4.

По заданным номинальным мощностям трансформаторов ТП и их паспортным данным, взятые из банка данных программы МИФ1, файл SLEP.TXT (см. параграф 12), определяют активные и реактивные сопротивления:

$$R_{\tau} = \frac{\Delta P_{\kappa} U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}^2} 10^3, \text{ Ом}; \quad X_{\tau} = \frac{U_{\kappa} U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}} 10, \text{ Ом}, \quad (1)$$

где:  $\Delta P_{\kappa}$  - потери короткого замыкания, кВт;  $U_{\kappa}$  - напряжение короткого замыкания, %;  $S_{\text{НОМ}}$  - номинальная мощность трансформатора, кВ·А;  $U_{\text{НОМ}}$  - номинальное напряжение обмотки высшего напряжения, кВ.

Результаты заносят в табл.4.

По заданному коэффициенту  $k_1$  и суммарной номинальной мощности трансформаторов всех ТП  $\sum_{i=1}^n S_{i \text{ НОМ}}$  определяют суммарный ток ЦП со стороны 10(6) кВ в режиме наибольших нагрузок по формуле:

$$I_{\text{ЦП.нб}} = \frac{k_1 \sum_{i=1}^n S_{i \text{ НОМ}}}{\sqrt{3} U_{\text{НОМ}}}, \text{ А},$$

где  $n$  - число трансформаторов всех ТП;  $U_{\text{НОМ}}$  - номинальное напряжение сети, кВ;  $S_{i \text{ НОМ}}$  - номинальная мощность трансформаторов  $i$  - го ТП.

По заданному току  $I_{\text{ЦП.нб}}$  центра питания в режиме наибольших нагрузок и заданному  $\cos \phi$  вычисляют ток, активную и реактивную мощности каждой ТП пропорционально номинальным мощностям их трансформаторов. Так, для  $i$ -ой ТП будем иметь:

$$I_{i \text{ нб}} = I_{\text{ЦП.нб}} \frac{S_{i \text{ НОМ}}}{\sum_{i=1}^n S_{i \text{ НОМ}}}, \quad (2)$$

где:  $I_{\text{ЦП.нб}}$ -заданный ток ЦП;  $S_{i \text{ НОМ}}$ -номинальная мощность трансформатора  $i$ -ой ТП;  $n$ -число ТП, подключённых к ЦП.

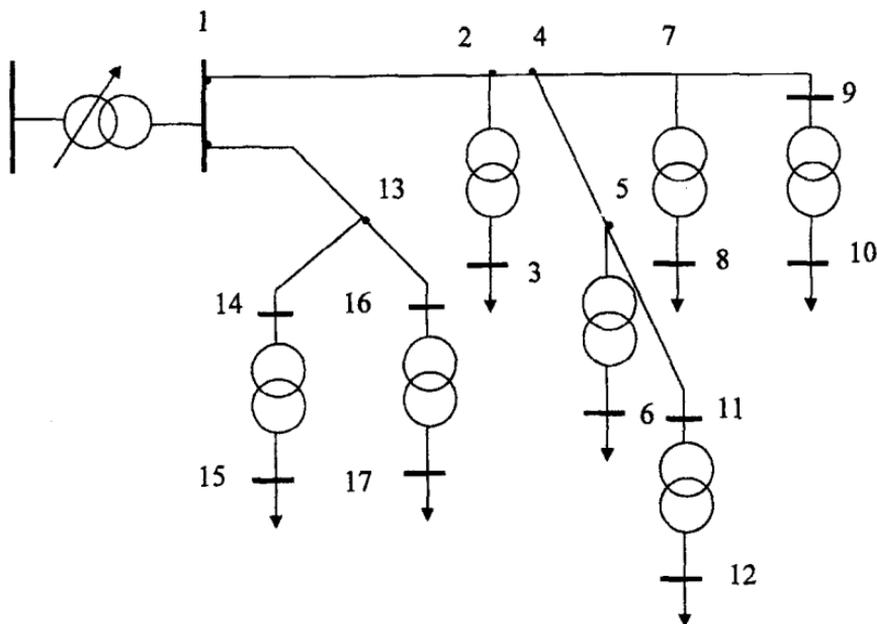


Рис.1 Схема сети.

Таблица 4

## Параметры участков сети

Номер участка сети	R, Ом	X, Ом
Линии		
1-2		
2-4		
4-5		
...		
...		
Трансформаторы		
2-3		
5-6		

Параметры узлов сети

Номер узла	Номинальная мощность трансформатора, кВ·А	Загрузка трансформатора, отн. ед.	Ток, А		Мощности				cosφ
			I <sub>нб</sub>	I <sub>нм</sub>	активная, кВт		реактивная, кВт		
					P <sub>нб</sub>	P <sub>нм</sub>	Q <sub>нб</sub>	Q <sub>нм</sub>	
3									
6									
8									
...									

Примечание. Привести значения суммарных токов ЦП в режимах наибольших (I<sub>ЦПнб</sub>) и наименьших (I<sub>ЦПнм</sub>) нагрузок и суммарную номинальную мощность трансформаторов ТП.

С учётом заданного условия однородности нагрузок ТП будет иметь место равенство :

$$\cos\phi_1 = \cos\phi$$

т.е. cosφ нагрузок всех ТП будет равен заданному cosφ в центре питания.

Активные и реактивные мощности ТП вычисляются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} P_{i\text{ нб}} &= \sqrt{3} U_{\text{ном}} I_{i\text{ нб}} \cos\phi, \text{ кВт}; \\ Q_{i\text{ нб}} &= \sqrt{3} U_{\text{ном}} I_{i\text{ нб}} \sin\phi, \text{ квар}; \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

По заданному отношению наименьшей нагрузки к наибольшей находят нагрузки каждой ТП в режиме наименьших нагрузок :

$$I_{i\text{ нм}} = I_{i\text{ нб}} m, \quad P_{i\text{ нм}} = P_{i\text{ нб}} m, \quad Q_{i\text{ нм}} = Q_{i\text{ нб}} m. \quad (4)$$

Результаты заносят в таблицу 5.

Рассчитанные сопротивления и нагрузки наносят на отдельную схему, аналогичную рис.1.

### 3. СОСТАВЛЕНИЕ ФУНКЦИЙ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАГРУЗКИ

По заданному составу потребителей ТП находят статические характеристики нагрузки:

$$P_{\text{ТП}} = P_{\text{л.н}} + P_{\text{л.л}} + P_{\text{н.п}} + P_{\text{т}} + P_{\text{а.д}}, \quad (5)$$

$$Q_{\text{ТП}} = Q_{\text{л.н}} + Q_{\text{л.л}} + Q_{\text{н.п}} + Q_{\text{т}} + Q_{\text{а.д}}, \quad (6)$$

где  $P_{л.н}$ ,  $P_{л.л}$ ,  $P_{н.п}$ ,  $P_{т}$ ,  $P_{в.д}$  - активные мощности ламп накаливания, люминесцентных ламп, нагревательных приборов, телевизоров, асинхронных двигателей в соответствующем режиме работы сети (при наибольшей и наименьшей нагрузках);  $Q_{л.н}$ ,  $Q_{л.л}$ ,  $Q_{н.п}$ ,  $Q_{т}$ ,  $Q_{в.д}$  - соответствующие реактивные мощности.

При другом составе потребителей формулы (5) и (6) будут отличаться лишь набором составляющих электроприёмников.

Для составления функций (5) и (6) воспользуемся статическими характеристиками отдельных электроприёмников, полученными по данным, приведенным в [2, 3].

Для ламп накаливания:

$$\left. \begin{aligned} P_{л.н} &= n_{л.н} P_{ном} (1 + 1,5\delta U), \\ Q_{л.н} &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где  $\delta U$  - отклонение напряжения, равное:

$$\delta U = (U - U_{ном}) / U_{ном}.$$

Для люминесцентных ламп:

$$\left. \begin{aligned} P_{л.л} &= n_{л.л} P_{ном} (1 + 1,5\delta U) \\ Q_{л.л} &= n_{л.л} Q_{ном} (1 + 3\delta U + 2,2\delta U^2). \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Для нагревательных приборов:

$$\left. \begin{aligned} P_{н.п} &= n_{н.п} P_{ном} (1 + \delta U)^2 \\ Q_{н.п} &\approx 0. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Для телевизоров:

$$\left. \begin{aligned} P_{т} &= n_{т} P_{ном} (1 + 2\delta U) \\ Q_{т} &\approx n_{т} Q_{ном} (1 + 3,8\delta U). \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Для асинхронных электродвигателей:

$$\left. \begin{aligned} P_{\text{в.д.}} &\approx n_{\text{в.д.}} (mP_{\text{ном}} + \Delta P_{\text{ном}} \cdot P_{\text{ном}} k_p) = n_{\text{в.д.}} P_{\text{ном}} (m + \Delta P_{\text{ном}} k_p) \\ Q_{\text{в.д.}} &\approx n'_{\text{в.д.}} Q_{\text{ном}} (1 + 6\delta U). \end{aligned} \right\} (11)$$

где  $P_{\text{ном}}$  - потери активной мощности в асинхронном двигателе при номинальном напряжении, отн.ед.,  $\Delta P_{\text{ном}} = \Delta P_{\text{ном}}/P_{\text{ном}}$ .

При коэффициенте загрузки двигателя  $m = 1$ :

$$k_p = -0,75 \delta U + 4,75 \delta U^2 - 2,51 \delta U^3.$$

Потери мощности  $\Delta P_{\text{ном}}$  можно вычислить по известному КПД электродвигателя. Для асинхронных двигателей напряжением 380 и 220 В КПД при номинальной нагрузке ориентировочно составляет  $\eta = 0,85 \dots 0,92$ . В курсовом проекте можно принять  $m = 1$  и  $\eta = 0,88$ . Тогда потери

$$\Delta P_{\text{ном}} \approx 0,12. \quad (13)$$

В формулах (7) - (11)  $P_{\text{ном}}$  - активная мощность ТП при номинальном напряжении в соответствующем режиме работы сети,  $n_{\text{л.н}}$ ,  $n_{\text{л.л}}$ ,  $n_{\text{н.п}}$ ,  $n_{\text{т}}$ ,  $n_{\text{в.д}}$  - заданные доли мощностей различных электроприёмников (соответственно лампы накаливания, люминесцентных ламп, нагревательных приборов, телевизоров, асинхронных двигателей) в суммарной активной нагрузке ТП,  $n'_{\text{л.л}}$ ,  $n'_{\text{т}}$ ,  $n'_{\text{в.д}}$  - соответственно заданные доли реактивной мощности в суммарной реактивной нагрузке ТП.

Очевидно:

$$n_{\text{л.н}} + n_{\text{л.л}} + n_{\text{н.п}} + n_{\text{т}} + n_{\text{в.д}} = 1,$$

$$n'_{\text{л.л}} + n'_{\text{т}} + n'_{\text{в.д}} = 1.$$

В результате расчетов должны получиться статические характеристики в виде:

$$P = P_{\text{ном}} (1 + a_1 \delta U + a_2 \delta U^2 + a_3 \delta U^3),$$

$$Q = Q_{\text{ном}} (1 + b_1 \delta U + b_2 \delta U^2),$$

где  $P_{\text{ном}}$ ,  $Q_{\text{ном}}$  - мощности, потребляемые при  $\delta U = 0$ .

По этим зависимостям вычерчиваются графики  $P/P_{\text{ном}} = f(\delta U)$  и  $Q/Q_{\text{ном}} = f(\delta U)$ , где  $\delta U$  берется по формуле

$$\delta U = \frac{U - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}}.$$

#### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ НЕЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА В ЦП

Выпускаемые трансформаторы с РПН имеют следующие диапазоны и ступени регулирования:

- трансформаторы 35/10 кВ  $\pm 6 \times 1,5\%$ ;
- трансформаторы 110/10 кВ и 110/35/10 кВ  $\pm 9 \times 1,78\%$ .

Таким образом, на трансформаторах ЦП ступень регулирования может быть  $\delta U_{ст} = 1,5$  или  $\delta U_{ст} = 1,78\%$  от номинального напряжения обмотки. Ступень регулирования непосредственно влияет на точность поддержания заданного в ЦП напряжения. Точность регулирования напряжения определяется зоной нечувствительности, характеризующейся некоторой полосой изменения напряжения на шинах ЦП, при которой не происходит срабатывания регулирующей аппаратуры:

$$\delta U_{ин} = \pm \frac{n \delta U_{ст}}{2}, \quad (14)$$

где  $\delta U_{ст}$  - ступень регулирования на обмотке трансформатора;  $n$  - коэффициент чувствительности, вводимый для того, чтобы исключить многочисленные бесцельные срабатывания переключающих устройств, принимается равным 1.2...1.6.

#### 5. РАСЧЁТ РЕЖИМОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

При расчёте режимов распределительной сети 10 (6) кВ вводят следующие упрощения:

а) расчёт потоков мощности на участках сети ведут по номинальному напряжению без учёта потерь мощности. В результате на каждом участке будет получена одна какая-то мощность;

б) пренебрегают поперечной составляющей падения напряжения, а потерю напряжения принимают равной продольной составляющей падения напряжения

$$\Delta U = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_{ном}}, \text{ В}, \quad \Delta U, \% = \frac{\Delta U, \text{ В}}{U_{ном}, \text{ В}} \cdot 100\%; \quad (15)$$

в) не учитывают поперечные проводимости линий и потери мощности холостого хода трансформаторов ТП.

По данным параметров участков сети (см. табл. 4) и наибольшим нагрузкам ТП (см. табл. 5) находят потоки мощности на всех участках сети. Расчёт ведут от концов сети вплоть до ЦП, используя для каждой точки разветвления сети 1-й закон Кирхгофа.

По найденным потокам мощности, с использованием формулы (15), находят потери напряжения на каждом участке сети и затем - от шин ЦП до шин 0.38 кВ каждой ТП. Результаты заносят в табл.6 и 7.

Таблица 6

## Потери напряжения на участках сети

Номер участка	Потери напряжения в режиме			
	наибольших нагрузок		наименьших нагрузок	
	$\Delta U'_{нб}, В$	$\Delta U'_{нб}, \%$	$\Delta U'_{нм}, В$	$\Delta U'_{нм}, \%$
1-2				
2-3				
...				

Таблица 7

## Потери напряжения от шин ЦП до шин 0.38 кВ ТП

Номер шин 0,38 кВ ТП	$\Delta U, \%$ в режиме	
	наибольших нагрузок $\Delta U'_н$	наименьших нагрузок $\Delta U'_н$
3		
6		
8		
...		

Аналогичным образом находят потоки мощности и потери напряжения для режима наименьших нагрузок (см. табл. 5). Результаты также записывают в табл. 6 и 7.

Если задано условие о том, что нагрузка, присоединённая к шинам ЦП однородная и изменяется во времени на всех ТП одинаково, то можно записать:

$$\frac{\Delta U'_{н}}{\Delta U''_{н}} = \frac{\Delta U'_{н.б}}{\Delta U''_{н.б}} = \frac{\Delta U'_{н.у}}{\Delta U''_{н.у}} = m, \quad (16)$$

где

$$m = \frac{P'}{P''}.$$

Здесь:  $P', P''$  - активная нагрузка в режиме наибольших и наименьших нагрузок;  $\Delta U'_н, \Delta U''_{н.б}, \Delta U'_{н.у}$  - соответственно потери напряжения от шин ЦП до шин 0.38 кВ ТП, ближайшего к ТП приемника и до наиболее удалённого от ТП приёмника в режиме наименьших нагрузок;  $\Delta U''_{н.у}, \Delta U''_{н.б}, \Delta U''_{н}$  тоже, но в режиме наибольших нагрузок.

Следовательно,

$$\Delta U_n^* = \Delta U_n^* m.$$

## 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ОТКЛОНЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ НА ШИНАХ 0,38 кВ

Нормальные длительные допустимые отклонения напряжения у электроприемников по межгосударственному стандарту ГОСТ 13109-97, должны находиться в пределах  $\pm 5\%$  с вероятностью  $p \geq 0,95$ . Если ориентироваться на то, что у ближайшего к ТП электроприемника отклонение напряжения будет равно верхнему допустимому пределу  $\delta U_\delta = +5\%$ , а потеря напряжения в сети 0,38 кВ от ТП до него равна  $\Delta U_{нн.б}$ , то наибольшее допустимое отклонение напряжения на шинах 0,38 кВ по условию работы ближайшего электроприемника составит:

$$\delta U_{тп.нб} = \delta U_\delta + \Delta U_{нн.б},$$

где:  $\Delta U_{нн.б}$  - потеря напряжения от шин 0,38 кВ до ближайшего приёмника.

Относительно наиболее удалённого от ТП приемника можно ориентироваться на то, что у него отклонение напряжения будет равно нижнему допустимому пределу  $\delta U_y = -5\%$ . Если при этом потеря напряжения в сети 0,38 кВ от ТП до него равна  $\Delta U_{нн.у}$ , то наименьшее допустимое отклонение напряжения на шинах 0,38 кВ ТП по условию работы удалённого электроприемника будет равно:

$$\delta U_{тп.нм} = \delta U_y + \Delta U_{нн.у}, \quad (17)$$

где  $\Delta U_{нн.у}$  - потеря напряжения от шин 0,38 кВ ТП до удалённого электроприемника.

Таким образом, с учётом соблюдения требований ГОСТ, как у ближайшего, так и у удалённого приемника напряжение на шинах 0,38 кВ ТП должно находиться в пределах:

$$\delta U_{тп.нм} \leq \delta U_{тп.доп} \leq \delta U_{тп.нб}, \quad (18)$$

Условие (18) должно соблюдаться как для режима наибольших, так и для режима наименьших нагрузок:

$$\left. \begin{aligned} \delta U_{тп.нм}^* &\leq \delta U_{тп.доп}^* \leq \delta U_{тп.нб}^* \\ \delta U_{тп.нм}' &\leq \delta U_{тп.доп}' \leq \delta U_{тп.нб}' \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Если иметь ввиду, что нормируемые допустимые отклонения напряжения у электроприемников не зависят от режима сети, т.е.

$$\delta U_c = \delta U_c = \delta U_c \quad \text{и} \quad \delta U_y = \delta U_y = \delta U_y, \quad \text{то}$$

$$\left. \begin{aligned} \delta U_{\text{ТП.10}}^* &= \delta U_{\text{с}} + \Delta U_{\text{ин.6}}^* \\ \delta U_{\text{ТП.10}}^* &= \delta U_{\text{у}} + \Delta U_{\text{ин.у}}^* \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

$$\left. \begin{aligned} \delta U_{\text{ТП.10}}^* &= \delta U_{\text{с}} + \Delta U_{\text{ин.6}}^* \\ \delta U_{\text{ТП.10}}^* &= \delta U_{\text{у}} + \Delta U_{\text{ин.у}}^* \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

## 7. ВЫБОР РЕЖИМА ВСТРЕЧНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ШИНАХ 10 (6) кВ ЦП

Для уменьшения отклонения напряжения на зажимах электроприемников на шинах 10(6)кВ ЦП должно осуществляться встречное регулирование напряжения. При этом должно поддерживаться наибольшее напряжение для режима наибольших потерь напряжения (режима наибольших нагрузок) и наименьшее - для режима наименьших потерь напряжения (режима наименьших нагрузок) [4, 5].

На практике обычно выбирают один из следующих режимов регулирования напряжения на шинах 10(6) кВ ЦП:

а) при наибольших нагрузках  $\delta U_{\text{ЦП}}^* = +5\%$  от  $U_{\text{ном}}$ , а при наименьших нагрузках -  $\delta U_{\text{ЦП}}^* = 0$  от  $U_{\text{ном}}$ ;

б) при наибольших нагрузках  $\delta U_{\text{ЦП}}^* = +10\%$ , а при наименьших нагрузках -  $\delta U_{\text{ЦП}}^* = +5\%$ ;

в) при наибольших нагрузках  $\delta U_{\text{ЦП}}^* = +10\%$ , а при наименьших нагрузках -  $0\%$ ; такой режим может потребоваться при значительных потерях напряжения от ЦП до наиболее удаленного ТП и глубоких изменениях нагрузки в течение суток.

В курсовом проекте рекомендуется выбрать режим по пункту а). Если при этом не удастся обеспечить допустимые отклонения у электроприемников, то можно перейти к режиму б) либо к режиму в).

Если по пунктам а - в не удастся подобрать ответвления трансформаторов, обеспечивающих допустимые отклонения напряжения у потребителей, то могут быть рассмотрены и другие сочетания отклонений напряжения на шинах ЦП:

г)  $\delta U_{\text{ЦП}}^* = 0\%$ ,  $\delta U_{\text{ЦП}}^* = -5\%$ ;

д)  $\delta U_{\text{ЦП}}^* = 0\%$ ,  $\delta U_{\text{ЦП}}^* = 0\%$ ;

е)  $\delta U_{\text{ЦП}}^* = +5\%$ ,  $\delta U_{\text{ЦП}}^* = +5\%$ ;

В связи с тем, что автоматические регуляторы напряжения в ЦП обладают зоной нечувствительности, то отклонения напряжения на шинах ЦП не будет точно поддерживаться в соответствии с выбранным. Для со-

ответствующих выбранных режимов по пунктам а, б, в оно может находиться в следующих пределах:

1. При наибольших нагрузках

$$\left. \begin{aligned} \delta U_{\text{ЦП.нб}}^* &= 5 + \delta U_{\text{нч}}, \\ \delta U_{\text{ЦП.нм}}^* &= 5 - \delta U_{\text{нч}}; \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

при наименьших нагрузках

$$\left. \begin{aligned} \delta U_{\text{ЦП.нб}}^* &= 0 + \delta U_{\text{нч}}, \\ \delta U_{\text{ЦП.нм}}^* &= 0 - \delta U_{\text{нч}}; \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

2. При наибольших нагрузках

$$\left. \begin{aligned} \delta U_{\text{ЦП.нб}}^* &= 10 + \delta U_{\text{нч}}, \\ \delta U_{\text{ЦП.нм}}^* &= 10 - \delta U_{\text{нч}}; \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

при наименьших нагрузках

$$\left. \begin{aligned} \delta U_{\text{ЦП.нб}}^* &= 5 + \delta U_{\text{нч}}, \\ \delta U_{\text{ЦП.нм}}^* &= 5 - \delta U_{\text{нч}}; \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

3. При наибольших нагрузках

$$\left. \begin{aligned} \delta U_{\text{ЦП.нб}}^* &= 10 + \delta U_{\text{нч}}, \\ \delta U_{\text{ЦП.нм}}^* &= 10 - \delta U_{\text{нч}}; \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

при наименьших нагрузках

$$\left. \begin{aligned} \delta U_{\text{ЦП.нб}}^* &= 0 + \delta U_{\text{нч}}, \\ \delta U_{\text{ЦП.нм}}^* &= 0 - \delta U_{\text{нч}}; \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

В формулах (22) - (27)  $\delta U_{\text{нч}}$  - зона нечувствительности регулятора, определяемая по формуле (14).

## 8. ВЫБОР ОТВЕТВЛЕНИЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТП

В распределительной сети 10(6) кВ, как правило, устанавливают трансформаторы, не имеющие устройства регулирования напряжения под нагрузкой (РПН). Вместе с тем, эти трансформаторы имеют ответвления,

позволяющие устанавливать различные коэффициенты трансформации. Поскольку на них нет устройств РПН, то на каждом конкретном трансформаторе в различных режимах (наибольших и наименьших нагрузок) может быть установлено только одно ответвление.

На трансформаторах обычно имеется 5 ответвлений со ступенью регулирования коэффициентов трансформации 2,5%.

Величина добавки напряжения, создаваемая трансформатором, зависит от установленного ответвления:

$$\delta U_T = \left( \frac{U_{2ном}^*}{U_{1ном}^*} - 1 \right) 100, \% \quad (28)$$

где  $U_{1ном}^*$  - номинальное напряжение первичной обмотки трансформатора (в отн. ед.) с учётом установленного ответвления;  $U_{2ном}^*$  - номинальное напряжение вторичной обмотки трансформатора (в отн. ед.).

Для трансформаторов  $10 \pm 2 \times 2,5\% / 0,4$  и  $6 \pm 2 \times 2,5\% / 0,4$  кВ значения добавок напряжения приведены в табл. 8.

Таблица 8

## Добавки напряжения на трансформаторах ТП

Номер от- ветвления	Ответвление первичной об- мотки транс- форматора, %	Напряжение ответвления, кВ	Значение добавки напря- жения, $\delta U_T$ , %	
			точное зна- чение	округленное значение
1	+5	10,5(6,3)	0,26	0
2	+2,5	10,25(6,15)	2,63	2,5
3	0	10(6)	5,26	5
4	-2,5	9,75(5,85)	7,9	7,5
5	-5	9,5(5,7)	10,8	10

Для обеспечения допустимых отклонений напряжения у электроприемников целесообразно использовать все имеющиеся ответвления трансформаторов (см. табл. 8). При этом каждому из ответвлений будет соответствовать определённая зона распределительной сети. На ТП, близких к ЦП, следует стремиться установить ответвления с меньшими добавками напряжения (т.е. +5 или +2,5%), а на удалённых ТП - наоборот, с большими добавками напряжения (т.е. -2,5 или -5%).

Сформулируем условия перехода с одного ответвления трансформатора на другое. Для этого определим величины потерь напряжения, при которых на трансформаторных ТП, ближайших к ЦП, может быть установлена наименьшая добавка напряжения 0,26%, соответствующая ответвлению трансформатора +5% (см. табл. 8).

Запишем выражение для отклонения напряжения на шинах 0,38кВ ТП:

$$\delta U_{\text{ТП}} = \delta U_{\text{ЦП}} - \Delta U_{\text{Н}} + \delta U_{\text{Т}},$$

где  $\delta U_{\text{ЦП}}$  - отклонение напряжения на шинах ЦП;  $\Delta U_{\text{Н}}$  - потеря напряжения от шин ЦП до шин 0.38 кВ ТП;  $\delta U_{\text{Т}}$  - добавка напряжения на трансформаторе ЦП.

Отсюда

$$\Delta U_{\text{Н}} = \delta U_{\text{ЦП}} - \delta U_{\text{ТП}} + \delta U_{\text{Т}}. \quad (29)$$

Допустимые отклонения напряжения на шинах 0,38 кВ ТП определяются выражениями (18), (20) и (21). Режимы отклонений напряжения на шинах ЦП с учётом зоны нечувствительности регулятора выбираются по одному из вариантов в соответствии с формулами (22) - (27).

С учётом отмеченного наибольшая потеря напряжения от шин ЦП до шин 0.38 кВ ТП, при которой на трансформаторах ТП может быть установлено ответвление, соответствующее наименьшей добавке напряжения  $\delta U_{\text{Т.нм}} = 0.26$ , может быть определено из следующих выражений.

Для режима наибольших нагрузок:

$$\text{а) } \left. \begin{aligned} \Delta U_{\text{н.нб}}^* &= \delta U_{\text{ЦП.нб}}^* - \delta U_{\text{ТП.нм}}^* + 0,26, \\ \Delta U_{\text{н.нм}}^* &= \delta U_{\text{ЦП.нб}}^* - \delta U_{\text{ТП.нб}}^* + 0,26, \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

отсюда

$$\Delta U_{\text{н.нм}}^* \leq \Delta U_{\text{н}}^* \leq \Delta U_{\text{н.нб}}^*; \quad (31)$$

$$\text{б) } \left. \begin{aligned} \Delta U_{\text{н.нб}}^* &= \delta U_{\text{ЦП.нм}}^* - \delta U_{\text{ТП.нм}}^* + 0,26, \\ \Delta U_{\text{н.нм}}^* &= \delta U_{\text{ЦП.нм}}^* - \delta U_{\text{ТП.нб}}^* + 0,26, \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

отсюда

$$\Delta U_{\text{н.нм}}^{**} \leq \Delta U_{\text{н}}^{**} \leq \Delta U_{\text{н.нб}}^{**}. \quad (33)$$

Таким образом, по условию наибольших нагрузок наименьшая добавка напряжения на трансформаторах может быть выбрана на ТП, для которых одновременно выполняются условия (31) и (33).

Для режима наименьших нагрузок:

$$\text{а) } \left. \begin{aligned} \Delta U_{\text{н.нб}}' &= \delta U_{\text{ЦП.нб}}' - \delta U_{\text{ТП.нм}}' + 0,26, \\ \Delta U_{\text{н.нм}}' &= \delta U_{\text{ЦП.нб}}' - \delta U_{\text{ТП.нб}}' + 0,26, \end{aligned} \right\} \quad (34)$$

отсюда

$$\Delta U'_{н.нм} \leq \Delta U'_н \leq \Delta U'_{н.нб}; \quad (35)$$

$$б) \quad \left. \begin{aligned} \Delta U'_{н.нб} &= \delta U'_{ЦП.нм} - \delta U'_{ТП.нм} + 0,26, \\ \Delta U'_{н.нм} &= \delta U'_{ЦП.нм} - \delta U'_{ТП.нб} + 0,26, \end{aligned} \right\} \quad (36)$$

отсюда

$$\Delta U'_{н.нм} \leq \Delta U'_н \leq \Delta U'_{н.нб}. \quad (37)$$

Отсюда, по условию наименьших нагрузок, наименьшая добавка напряжения может быть выбрана на ТП, для которых одновременно выполняются условия (35) и (37).

Следовательно, добавка напряжения 0,26 (ответвление +5%) будет удовлетворять требованиям допустимых отклонений напряжения у всех электроприемников на ТП, для которых одновременно выполняются условия (31), (33), (35) и (37). Сравнивая  $\Delta U'_н$  и  $\Delta U'_{н.нб}$ , полученные по результатам электрических расчётов (см. табл. 7), с указанными условиями, находят ТП, на которых следует выбрать ответвление трансформаторов +5%.

После установления зоны сети, в которой могут быть выбраны ответвления +5%, переходят к нахождению зоны сети, удовлетворяющей следующему ответвлению, +2,5% с добавкой напряжения  $\delta U_T = 2,63\%$  (см. табл. 8). Для этого в формулы (30), (32), (34), (36) вместо добавки напряжения 0,26 подставляют добавку 2,63 и находят ТП, соответствующие условиям (31), (33), (35), (37).

Аналогичным образом поступают для нахождения зон сети, в которых следует установить остальные ответвления трансформаторов (0, -2,5, -5%).

## 9. РАСЧЕТЫ РЕЖИМОВ НА ЭВМ

Дальнейшие расчёты выполняются с помощью программы "МИФ1" расчёта режима распределительной сети на ПЭВМ, разработанной на кафедре "Электрические системы" БНТУ. В соответствии с инструкцией к этой программе (см. п. 12) необходимо набрать схему сети, занести длины и марки проводов линий, номинальные мощности трансформаторов ТП, активную и реактивную нагрузки по каждой ТП (см. табл. 5). Задать коэффициенты трансформации трансформаторов ТП в соответствии с выбранными ответвлениями.

Производятся расчёты режимов наибольших и наименьших нагрузок без учёта статических характеристик. При этом для каждого из режимов производится два расчета с предельными значениями отклонения напряжения на шинах ЦП (см. формулы (22) – (27)): для режима наибольших нагрузок  $\delta U'_{ЦП.нб}$  и  $\delta U'_{ЦП.нм}$ ; для режима наименьших нагрузок соответ-

венно  $\delta U'_{ЦП.лб}$  и  $\delta U'_{ЦП.лм}$ . На основании этих расчётов находятся напряжения на шинах 0,38 кВ ТП и сравниваются с допустимыми, и также суммарные потери активной и реактивной мощности.

Результаты расчетов представляются в виде схем сети с потоками мощности, потерями напряжения от ЦП до шин 0,38 кВ ТП (в процентах) и отклонениями напряжения на шинах 0,38 кВ ТП (в процентах). Результаты также заносятся в табл. 9. Делается вывод о допустимости полученных отклонений напряжения.

Таблица 9

Допустимые и фактические отклонения напряжения на шинах 0,38 кВ ТП

Но- мер шин 0,38 кВ ТП	Допустимые от- клонения на- пряжения, %, в режиме		Фактические отклонения напряжения, %							
			без учета статических характеристик в режиме			с учетом статических характе- ристик в режиме				
	наиболь- ших на- грузок	наи- меньших нагрузок	наибольших нагрузок при		наименьших нагрузок при		наибольших нагрузок при		наименьших нагрузок при	
			$U'_{ЦП.лб}$	$U'_{ЦП.лм}$	$\frac{\alpha_{лм}+10\alpha_{лб}}{\alpha_{лм}-10\alpha_{лб}}$	$U'_{ЦП.лм}$	$U'_{ЦП.лб}$	$U'_{ЦП.лм}$	$U'_{ЦП.лб}$	$U'_{ЦП.лм}$
23										
65										
...										

## 10. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАГРУЗКИ НА РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

В каждой ТП вводятся статические характеристики нагрузки в соответствии с составленными функциями (см. п. 3). Все расчеты, проведенные в п.9, повторяются при наибольших и наименьших нагрузках с учетом статических характеристик. Результаты каждого расчета наносятся на отдельную схему и заносятся в табл. 9. Делается вывод о допустимости напряжений на шинах 0,38 кВ ТП.

Производится анализ изменения потерь активной и реактивной мощности и изменения напряжений при учете статических характеристик.

## 11. ПРИМЕР РАСЧЕТА

### 1. Исходные данные

Заданы схема сети напряжением 10 кВ, приведенная на рис. 2, и параметры сети: длины участков сети, их марки проводов и номинальные мощности трансформаторов 10/0,38 кВ. В центре питания установлен

трансформатор 110/10 кВ со ступенями РПН  $\delta U_{ст} = 1.78\%$ . Суммарный ток ЦП в режиме наибольших нагрузок со стороны 10 кВ  $I_{нб} = 30$  А  $\cos\phi = 0,92$ . Допустимые отклонения напряжения у электроприёмников  $\delta U_{доп} = \pm 5\%$ . Отношение наименьшей нагрузки к наибольшей  $m = 0,25$ . Потерю напряжения в режиме наибольших нагрузок от шин 0,38 кВ ТП до ближайшего приемника принять  $\Delta U''_{нп,6} = 0\%$ , а до наиболее удалённого -  $\Delta U''_{нп,у} = 5\%$ . Коэффициент чувствительности регулятора напряжения принять  $n=1,3$ .

Выбрать режим регулирования напряжения в ЦП и ответвления трансформаторов ТП.

## AC 50

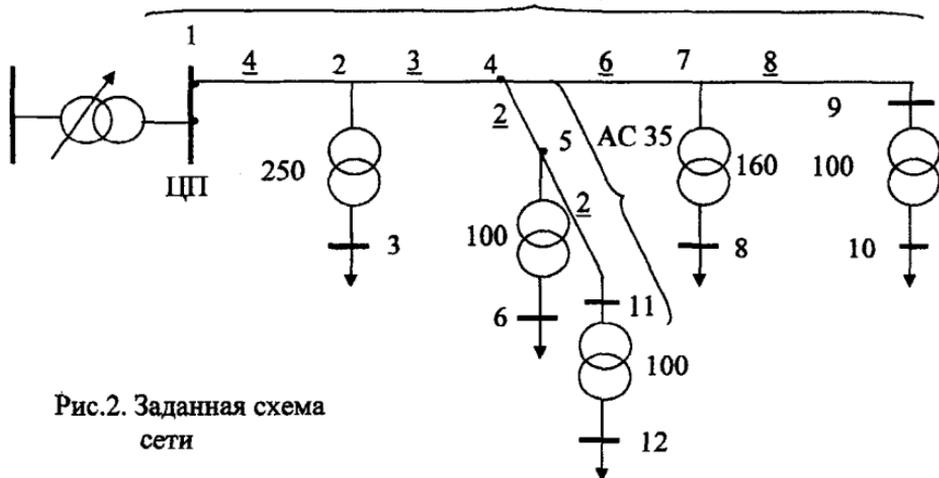


Рис.2. Заданная схема сети

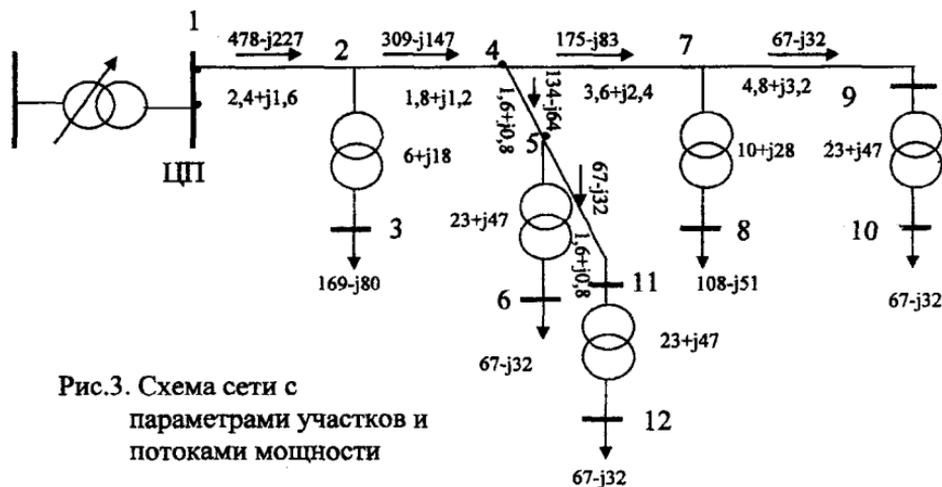


Рис.3. Схема сети с параметрами участков и потоками мощности

2.Расчёт параметров трансформаторных подстанций 10/0,38 кВ и участков сети.

По заданным маркам проводов, используя справочные данные (например, [1]), находим удельные сопротивления  $r_0$  и  $x_0$ . По заданным длинам линий находим активные и реактивные сопротивления. Заносим их в табл.10 и указываем на схеме рис.3.

Аналогично поступаем с параметрами трансформаторов ТП. Паспортные данные приведены в табл.11. Расчёт сопротивлений ведём по формулам (1). Так, для трансформатора 100кВ·А имеем:

$$R_T = \frac{2,27 \cdot 10^2}{100^2} 10^3 \approx 23 \text{ Ом}, X_T = \frac{4,7 \cdot 10^2}{100} 10 = 47 \text{ Ом}.$$

Результаты заносим в табл.10 и указываем на схеме рис.3.

Найдём суммарную номинальную мощность трансформаторов ТП:

$$S_{\text{ном}\Sigma} = 250 + 100 + 160 + 100 + 100 = 710 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

По заданному току трансформатора ЦП в режиме наибольших нагрузок  $I_{\text{цп.но}} = 30 \text{ А}$  по формуле (2) вычислим токи всех трансформаторов ТП.

Так, для трансформатора 2 - 3:

$$I_{2-3} = 30 \cdot \frac{250}{710} = 10,6 \text{ А}.$$

Таблица 10

Параметры участков сети

Номер участка сети		R, Ом	X, Ом	P <sub>ноб</sub> , кВт	Q <sub>ноб</sub> , квар	$\frac{PR}{U}$ , В	$\frac{QX}{U}$ , В	ΔU, В	ΔU, %
Линии	1-2	2,4	1,6	478	227	114,7	36,3	151	1,51
	2-4	1,8	1,2	309	147	55,6	17,6	73,2	0,73
	4-5	1,6	0,8	134	64	21,4	5,1	26,5	0,26
	4-7	3,6	2,4	175	83	63	19,9	82,9	0,83
	5-11	1,6	0,8	67	32	10,7	2,6	13,4	0,13
	7-9	4,8	3,2	67	32	32,2	10,2	42,4	0,42
Трансформаторы	2-3	6	18	169	80	101,4	144	245,4	2,45
	5-6	23	47	67	32	154	150	304	3,04
	7-8	10	28	108	51	108	143	251	2,51
	9-10	23	47	67	32	154	150	304	3,04
	11-12	23	47	67	32	154	150	304	3,04

Таблица 11

Паспортные данные трансформаторов 10/0,38кВ

$S_{ном}, \text{кВ}\cdot\text{А}$	$U_K, \%$	$\Delta P_K, \text{кВт}$
100	4,7	2,27
160	4,5	2,65
250	4,5	3,7

Таблица 12

Режимные параметры трансформаторов ТП

Номер трансформатора	Ток $I_{нб}, \text{А}$	Мощности	
		$P_{нб}, \text{кВт}$	$Q_{нб}, \text{квар}$
2-3	10,6	169	80
5-6	4,2	67	32
7-8	6,8	108	51
9-10	4,2	67	32
11-12	4,2	67	32

Результаты занесем в табл. 12.

По заданному  $\cos\phi = 0,92$  с использованием формул (3) вычислим активные и реактивные мощности ТП. Так, для трансформатора 2-3 получим:

$$P_{23 \text{ нб}} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10,6 \cdot 0,92 = 169 \text{ кВт},$$

$$Q_{23 \text{ нб}} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10,6 \cdot 0,436 = 80 \text{ квар};$$

Результаты вычислений занесем в табл. 12 и укажем на схеме рис.3.

3. Определение зоны нечувствительности автоматического регулятора напряжения трансформатора в центре питания.

С использованием заданных ступени регулирования на трансформаторе ЦП  $\delta U_{ст} = 1,78\%$  и коэффициента чувствительности  $n = 1,3$  по формуле (14) найдём зону нечувствительности регулятора:

$$\delta U_{нч} = \frac{1,3 \cdot 1,78}{2} \approx 1,2\%.$$

4. Расчёт режимов распределительной сети

Найдём потоки мощности на каждом участке сети без учёта потерь мощности и нанесём их на схему рис.3 и занесём в табл.10. По формулам

(15) найдём потери напряжения в вольтах и в процентах, после чего также занесём их в табл.10. Так, для участка 1-2 будем иметь:

$$\Delta U = \frac{478 \cdot 2,4 + 227 \cdot 1,6}{10} = 151 \text{ В}, \quad \Delta U = \frac{151}{10000} \cdot 100 = 1,51\%.$$

По найденным потерям напряжения на участках сети вычислим потери напряжения в процентах от шин ЦП до шин 0,38кВ каждой ТП. Так, для шин 10 будем иметь:

$$\Delta U_{1-10} = 1,51 + 0,73 + 0,83 + 0,42 + 3,04 = 6,53\%.$$

Результаты занесём в табл.13.

Таблица 13

Потери напряжения от шин ЦП до шин 0,38кВ ТП

Номер шин 0,38 кВ ТП	$\Delta U, \%$ в режиме	
	наибольших нагрузок	наименьших нагрузок
3	3,95	0,99
6	5,54	1,39
8	5,58	1,4
10	6,53	1,63
12	5,67	1,42

По заданному отношению наименьшей нагрузки к наибольшей  $m = 0,25$  найдём потери напряжения от шин ЦП до шин 0,38кВ ТП в режиме наименьших нагрузок с использованием формулы (16). Так, для шин 3 (см. рис.3) будем иметь:

$$\Delta U'_n = \Delta U''_n \cdot m = 3,95 \cdot 0,25 = 0,99\%.$$

Результаты расчётов занесем в табл.13.

##### 5. Определение допустимых отклонений напряжения на шинах 0,38 кВ ТП

Будем ориентироваться на то, что у ближайшего к ТП приёмника отклонение напряжения может быть равно верхнему допустимому пределу  $\delta U_6 = +5\%$ , а у наиболее удалённого - нижнему допустимому пределу  $\delta U_y = -5\%$ .

По условию задачи потеря напряжения в сети 0,38кВ от шин ТП до наиболее удалённого приёмника в режиме наибольших нагрузок равна  $\Delta U''_{н.у} = 5\%$ , а до ближайшего приёмника  $\Delta U''_{н.б} = 0\%$ . Тогда в режиме наименьших нагрузок эта потеря напряжения составит:

$$\Delta U'_{\text{н.у}} = \Delta U''_{\text{н.у}} m = 5 \cdot 0,25 = 1,25\%,$$

$$\Delta U'_{\text{н.б}} = \Delta U''_{\text{н.б}} m = 0 \cdot 0,25 = 0\%.$$

Допустимые отклонения напряжения на шинах 0,38кВ ТП в режиме наибольших нагрузок вычислим по формулам (20):

$$\delta U'_{\text{ТП.нб}} = 5 + 0 = 5\%,$$

$$\delta U'_{\text{ТП.нм}} = -5 + 5 = 0\%.$$

Таким образом, в режиме наибольших нагрузок отклонение напряжения на шинах 0,38 кВ ТП должно находиться в пределах:

$$0\% \leq \delta U'_{\text{ТП.доп}} \leq +5\%.$$

По формулам (21) аналогично найдём допустимые отклонения напряжения на шинах 0,38 кВ ТП в режиме наименьших нагрузок:

$$\delta U'_{\text{ТП.нб}} = 5 + 0 = 5\%,$$

$$\delta U'_{\text{ТП.нм}} = -5 + 1,25 = -3,75\%.$$

Таким образом, в режиме наименьших нагрузок отклонение напряжения на шинах 0,38 кВ ТП должно находиться в пределах:

$$-3,75\% \leq \delta U'_{\text{ТП.доп}} \leq +5\%.$$

6. Выбор режима встречного регулирования напряжения на шинах 10 кВ ЦП

Выберем следующий режим регулирования:

при наибольших нагрузках  $\delta U'_{\text{ЦП}} = +5\%$ ;

при наименьших нагрузках  $\delta U'_{\text{ЦП}} = 0\%$ ;

Тогда с учётом найденной зоны нечувствительности регулятора  $\delta U_{\text{нч}} = 1,2\%$  (см. п.3 настоящего параграфа) по формуле (22) найдём пределы возможных отклонений напряжения на шинах ЦП в режиме наибольших нагрузок:

$$\delta U''_{\text{ЦП.нб}} = 5 + 1,2 = 6,2\%;$$

$$\delta U''_{\text{ЦП.нм}} = 5 - 1,2 = 3,8\%.$$

Аналогично по формуле (23) для режима наименьших нагрузок найдём:

$$\delta U'_{\text{ЦП.нб}} = 0 + 1,2 = 1,2\%;$$

$$\delta U'_{\text{ШП.М}} = 0 - 1,2 = -1,2\%.$$

### 7. Выбор ответвлений трансформаторов ТП

Найдём зону сети, в которой может быть выбрана наименьшая добавка напряжения на трансформаторах  $\delta U_{\text{т.м}} = 0,26$  (соответствует ответвлению +5% - см. табл. 8). Для этого вычислим соответствующие наибольшие потери напряжения от ЦП до шин 0,38 кВ ТП. Для режима наибольших нагрузок по формулам (30) и (32) получим:

$$\text{а) } \Delta U'_{\text{н.об}} = 6,2 - 0 + 0,26 = 6,44\%,$$

$$\Delta U'_{\text{н.м}} = 6,2 - 5 + 0,26 = 1,46\%,$$

$$\text{отсюда } 1,46 \leq \Delta U'_n \leq 6,44;$$

$$\text{б) } \Delta U'_{\text{н.об}} = 3,8 - 0 + 0,26 = 4,06\%,$$

$$\Delta U'_{\text{н.м}} = 3,8 - 5 + 0,26 = -0,94\%,$$

$$\text{отсюда } -0,94 \leq \Delta U'_n \leq 4,06.$$

Обобщая неравенства по пп. а) и б), получим, что при ответвлении +5% потеря напряжения должна находиться в пределах:

$$1,46 \leq \Delta U'_n \leq 4,06.$$

Этому условию удовлетворяет только трансформатор 2-3 (см. рис.3), до шин 3 которого потеря напряжения равна 3,95% (см. табл.13):

$$1,46 \leq 3,95 \leq 4,06.$$

Проверим теперь выполнение требований (35) и (37) для режима наименьших нагрузок. Для этого произведём вычисления по формулам (34) и (36):

$$\text{а) } \Delta U'_{\text{н.об}} = 1,2 - (-3,75) + 0,26 = 5,21\%,$$

$$\Delta U'_{\text{н.м}} = 1,2 - 5 + 0,26 = -3,54\%,$$

$$\text{отсюда } -3,54 \leq \Delta U'_{\text{н.м}} \leq 5,21;$$

$$\text{б) } \Delta U'_{\text{н.об}} = -1,2 - (-3,75) + 0,26 = 2,81\%,$$

$$\Delta U'_{\text{н.м}} = -1,2 - 5 + 0,26 = -5,94\%,$$

$$\text{отсюда } -5,94 \leq \Delta U'_n \leq 2,81.$$

Обобщая неравенства по пп. а) и б), получим, что при ответвлении +5% потеря напряжения должна находиться в пределах:

$$-3,54 \leq \Delta U'_n \leq 2,81.$$

Этому условию трансформатор 2-3 также удовлетворяет, т.к. потеря напряжения до шин 3 составляет 0,99% (см. табл.13):

$$-3,54 \leq 0,99 \leq 2,81.$$

Следовательно, по условию обоих режимов на трансформаторе 2-3 может быть выбрано ответвление +5%.

Перейдём теперь к нахождению зоны сети, в которой может быть установлено ответвление трансформаторов +2,5% с добавкой напряжения  $\delta U_T = 2,63\%$  (см. табл.8).

Для режима наибольших нагрузок по формулам (30) и (32) получим:

$$а) \Delta U_{н.нб}^+ = 6,2 - 0 + 2,63 = 8,83\%,$$

$$\Delta U_{н.нм}^+ = 6,2 - 5 + 2,63 = 3,83\%,$$

$$\text{отсюда } 3,83 \leq \Delta U_n^+ \leq 8,83;$$

$$б) \Delta U_{н.нб}^- = 3,8 - 0 + 2,63 = 6,43\%,$$

$$\Delta U_{н.нм}^- = 3,8 - 5 + 2,63 = 1,43\%,$$

$$\text{отсюда } 1,43 \leq \Delta U_n^- \leq 6,43.$$

С учётом неравенств а) и б):

$$3,83 \leq \Delta U_n^+ \leq 6,43.$$

Этому условию удовлетворяют трансформаторы 5-6, 7-8, 11-12. По данным табл.13 для них соответственно имеем:

$$1,43 \leq 5,54 \leq 6,43,$$

$$1,43 \leq 5,58 \leq 6,43,$$

$$1,43 \leq 5,67 \leq 6,43.$$

Проверим требования режима наименьших нагрузок. По формулам (34) и (36) получим:

$$а) \Delta U_{н.нб}^+ = 1,2 - (-3,75) + 2,63 = 7,58\%,$$

$$\Delta U_{н.нм}^+ = 1,2 - 5 + 2,63 = -1,17\%,$$

$$\text{отсюда } -1,17 \leq \Delta U_n^+ \leq 7,58;$$

$$б) \Delta U_{н.нб}^- = -1,2 - (-3,75) + 2,63 = 5,18\%,$$

$$\Delta U_{н.нм}^- = -1,2 - 5 + 2,63 = -3,57\%,$$

$$\text{отсюда } -3,57 \leq \Delta U_n^- \leq 5,18.$$

С учётом ограничений а) и б):

$$1,17 \leq \Delta U_n^+ \leq 5,18.$$

Трансформаторы 5-6, 7-8, 11-12 этим ограничениям также удовлетворяют, т.к. по данным табл.13 для них соответственно имеем:

$$1,17 \leq 1,39 \leq 5,18,$$

$$1,17 \leq 1,4 \leq 5,18,$$

$$1,17 \leq 1,42 \leq 5,18.$$

Следовательно, по условию обоих режимов на трансформаторах 5-6, 7-8 и 11-12 может быть установлено ответвление +2,5%.

Далее найдём зону сети, соответствующую ответвлению трансформаторов 0% с добавкой напряжения  $\delta U_T = 5,26\%$  (см. табл.8). Для этого проведём аналогичные расчёты.

Для режима наибольших нагрузок по формулам (30) и (32) получим:

$$а) \Delta U_{н.нб}^+ = 6,2 - 0 + 5,26 = 11,46\%,$$

$$\Delta U_{н.нм}^+ = 6,2 - 5 + 5,26 = 6,46\%,$$

$$\text{отсюда } 6,46 \leq \Delta U_n^+ \leq 11,46;$$

$$б) \Delta U_{н.нб}^* = 3,8 - 0 + 5,26 = 9,06\%,$$

$$\Delta U_{н.нм}^* = 3,8 - 5 + 5,26 = 4,06\%,$$

отсюда  $4,06 \leq \Delta U_n^* \leq 9,06$ .

С учётом неравенства по пп. а) и б):

$$6,46 \leq \Delta U_n^* \leq 9,06.$$

Этому условию удовлетворяет трансформатор 9-10. Для него (см. табл.13):

$$6,46 \leq 6,53 \leq 9,06$$

Для режима наименьших нагрузок:

$$а) \Delta U_{н.нб}^* = 1,2 - (-3,75) + 5,26 = 10,21\%,$$

$$\Delta U_{н.нм}^* = 1,2 - 5 + 5,26 = 1,46\%,$$

отсюда  $1,46 \leq \Delta U_{н.нм}^* \leq 10,21$ ;

$$б) \Delta U_{н.нб}^* = -1,2 - (-3,75) + 5,26 = 7,81\%,$$

$$\Delta U_{н.нм}^* = -1,2 - 5 + 5,26 = -0,94\%,$$

отсюда  $-0,94 \leq \Delta U_n^* \leq 7,81$ .

С учётом ограничений по пп. а) и б):

$$1,46 \leq \Delta U_n^* \leq 7,81.$$

Трансформатор 9-10 этому условию удовлетворяет (см. табл.13):

$$1,46 \leq 1,63 \leq 7,81$$

Следовательно, на нём должно быть установлено ответвление 0%.

Результаты выбора ответвлений трансформаторов сведены в табл.14.

Таблица 14

Выбранные ответвления трансформаторов.

Номер трансформатора	Выбранные ответвления, %
2-3	+5
5-6	+2,5
7-8	+2,5
9-10	+0
11-12	+2,5

## 12. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ НА ЭВМ "МИФ1" РАСЧЕТА И АНАЛИЗА РЕЖИМОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И ИНСТРУКЦИЯ ПОЛЬЗОВАНИЯ ЕЙ

### МИФ1. Назначение и краткая характеристика программы

Программа МИФ1 предназначена для расчета и анализа режимов разомкнутых электрических сетей 6-20 кВ по наибольшим и наименьшим нагрузкам понижающих трансформаторных подстанций 6-20/0,38 кВ с учетом и без учета статических характеристик нагрузок потребителей. В рас-

четную схему сети входят питающий трансформатор и отходящая от него схема распределительной сети 6-20 кВ вместе с ТП 6-20/0,38 кВ. В качестве режимной информации используются: напряжения на понижающих шинах центра питания в режимах наибольших и наименьших нагрузок, ток ЦП в режиме наибольших нагрузок, коэффициент мощности и постоянное отношение наименьших нагрузок ТП к наибольшим. Кроме того, задаются коэффициенты статических характеристик активных и реактивных нагрузок ТП по напряжению.

Распечатка файла исходных данных показана в табл. 15

Распечатки результатов расчета представлены в таблицах вида 16 – 25.

Таблица 16. Режимные данные по сети 6 – 20 кВ.

Таблица 17. Данные о схеме сети 6 – 20 кВ.

Таблица 18. Коэффициенты статических характеристик нагрузки (исходные данные).

Таблица 19. Токовые нагрузки ТП 6 – 20/0,38 кВ (определяются в процессе счета).

Таблица 20. Нагрузки ТП 6 – 20/0,38 кВ в мощностях (вычисляются программой).

Таблица 21. Активные и реактивные сопротивления сети (вычисляются программой).

Таблица 22. Потери напряжения от шин ЦП до шин 0,38 кВ ТП.

Таблица 23. Отклонения напряжения на шинах 0,38 кВ ТП.

Таблица 24. Результаты расчета установившегося режима сети 6 – 20 кВ.

Таблица 25. Нагрузки ТП 6–20/0,38 кВ, пересчитанные с учетом статических характеристик нагрузки.

### МИФ1. Основные методические сведения

Алгоритм программы МИФ1 работает следующим образом. После ввода исходной режимной и топологической информации о сети программа формирует массив токовых нагрузок понижающих трансформаторных подстанций 6-20 кВ/0,38 кВ (табл. 19).

Нагрузки ТП рассчитываются путем распределения заданного суммарного тока ЦП в режиме наибольших нагрузок пропорционально установленным номинальным мощностям трансформаторов сети. После этого производится семантический контроль данных и по возможности автоматическое исправление типовых ошибок, наиболее часто встречающихся при подготовке исходной информации. К ним относятся: отсутствие источника питания (ЦП), потеря связности схемы (наличие разрывов), выход численных значений характеристик сети (длины участков, установленные мощности трансформаторов, нагрузки ТП и т.д.) за реально существующие пределы. При этом вместо ошибочно введенных данных принимаются их

статистические средние, выдаются диагностические сообщения о координатах и характере ошибок и там, где это возможно, расчет продолжается. После построения конфигурационной модели сети выполняется расчет по-токораспределения в схеме сети по наибольшим токовым нагрузкам ТП вначале без учета статических характеристик  $P(U)$ ,  $Q(U)$  по напряжению. Расчет ведется по номинальному напряжению без учета потерь мощности. Далее с использованием каталожных данных файлов SLEP.TXT и STR.TXT определяются активные и реактивные сопротивления участков схемы, потери напряжения в сети от шин ЦП до шин 0,38 кВ каждой ТП в режимах наибольших и наименьших нагрузок (табл. 22) и отклонения напряжения на шинах 0,38 кВ в этих же режимах при заданных коэффициентах трансформации (табл. 23). Для расчета отклонений напряжений в режиме наименьших нагрузок в программе дополнительно вычисляются напряжения на шинах 0,38 кВ ТП в данном режиме. Они определяются в виде разности напряжения, заданного на шинах ЦП для режима наименьших нагрузок, и потерь напряжения в этом же режиме, после чего печатаются результаты расчета установившегося режима сети в режиме наибольших нагрузок (табл. 24). В этой таблице нагрузка линейного участка сети представляет собой отношение наибольшего тока провода (кабеля) к допустимому току по нагреву, а нагрузка трансформаторного участка – это отношение нагрузки трансформатора, заданной в виде полной мощности, к номинальной мощности трансформатора ТП.

После печати режима сети вычисляются суммарные потери активной и реактивной мощности в схеме, нагрузки ТП пересчитываются по заданным статическим характеристикам (табл. 25) и все проведенные вычисления в программе повторяются, но уже с измененными нагрузками. Все результаты расчета по программе выдаются в один файл.

### МИФ1. Инструкция пользователю программой МИФ1

Программа МИФ1 состоит из исполнимого файла MIF1.EXE и двух открытых файлов справочной информации – файла SLEP.TXT с каталожными данными проводов и кабелей и файла STR.TXT с каталожными данными трансформаторов. При необходимости в оба файла справочных данных можно вносить требуемые дополнения. Для выполнения расчетов по программе МИФ1 необходимо:

- подготовить и проверить файл исходных данных NAME.DAT;
- запустить файл MIF1.EXE;
- просмотреть, проанализировать и распечатать файл результатов расчета NAME.RES.

## Подготовка файла исходных данных

Пример подготовленного файла исходных данных NAME.DAT показан в табл. 15. Файл данных всегда состоит из двенадцати одинаковых по содержанию строк 1 – 12, строк с топологией схемы сети (строки 13 – N) и четырех дополнительных строк (строки (N + 1) – (N + 4)).

Содержание строк файла данных

1 строка – номер варианта расчета (у всех одинаково);  
2 строка – информационная карта управления печатью (у всех одинаково). Единицы перфорируются в позициях 2, 17, 32, 47, 62.

3 строка – комментарий (наименование п/с);

4 строка – название питающей подстанции;

5 строка – комментарий;

6 строка – пять чисел, которые перфорируются в любом месте строки не менее, чем через один пробел друг от друга. Первое число – всегда 1, второе – номинальное напряжение сети (10), третье – номинальное напряжение шин ТП (0,38), четвертое – напряжение на шинах ЦП в режиме наибольших нагрузок (10,5) и пятое – напряжение на шинах ЦП в режиме наименьших нагрузок (10,2);

7 строка – комментарий;

8 строка – номер линии (4 символа);

9 строка – комментарий;

10 строка – три числа в любом месте строки не менее чем через пробел (первое число – суммарный ток ЦП в режиме наибольших нагрузок (50), второе число – коэффициент мощности ЦП (0,9), третье число – отношение наименьших нагрузок ТП к наибольшим (0,25));

11 строка – комментарий;

12 строка – питающий участок сети (у всех одинаковый). Начало участка ЦП (первая позиция), конец участка 1 (шестая позиция), марка участка А-70 (одиннадцатая позиция) и число 0,00001 (двадцать четвертая позиция);

(13 – N) строки – топология схемы сети 6-20 кВ;

N1 – начало участка (4 символа с 1-й позиции);

N2 – конец участка (4 символа с 6-й позиции);

Марка – марка провода (кабеля) или пробелы (для участка с трансформатором) (8 символов с 11-й позиции);

L/ – S<sub>ном</sub> – длина участка в километрах или с минусом номинальная мощность трансформатора в кВ А (с 24-й позиции);

KTR – коэффициент трансформации ТП как отношение напряжения ответвления к номинальному напряжению обмотки низшего напряжения трансформатора (в данном случае 25).

Пример кодировки участка линии:

1     21    А-70     1.

Пример кодировки трансформаторного участка:

5     102   - 400.     25.

(N + 1) строка – признак конца кодировки топологии схемы (всегда \*\*);

(N + 2) строка – комментарий;

(N + 3) строка – коэффициенты полинома  $P(U)$  статической характеристики активной мощности нагрузки (всегда четыре значения  $A_0, A_1, A_2$  и  $A_3 - 1. \quad - 0.75 \quad 4.75 \quad 2.51$  не менее чем через один пробел);

(N + 4) строка – коэффициенты полинома  $Q(U)$  статической характеристики реактивной мощности нагрузки (3 числа  $B_0, B_1$  и  $B_2 - 1. \quad 3. \quad 2.2$  не менее чем через один пробел).

Таблица 15

## Исходные данные

3 ВАРИАНТ						1 строка
1 ДАННЫЕ	1 ЛИНИЯ	1 ПОДСТАНЦИЯ	11 РЕЖИМ	1 УЧАСТОК	1	2 строка
НАИМЕНОВАНИЕ П/С:						3 строка
"ЗЯБРОВКА" 110/10						4 строка
ЧИСЛО РЛ, UNOM ВН, UNOM НН, U НА ШИНАХ ВН В МАХ И МИН РЕЖИМАХ						5 строка
1 10. 0.38 10.5 10.2						6 строка
КОД СХЕМЫ ЛИНИИ						7 строка
922						8 строка
СУММАРНЫЙ ТОК ЦП В РЕЖИМЕ НАИБОЛЬШИХ НАГРУЗОК, COS Fi, KMAXMIN						9 строка
	50.	0.9	0.25			10 строка
N1	N2	МАРКА	L/-Snom	KTR		11 строка
ЦП	1	A-70	0.00001			12 строка
1	21	A-70	1.00			13 строка
21	2	ААШВ-95	0.65			
2	3	A-70	4.3			
3	4	АС-25	0.96			
4	5	A-70	2.4			
5	102		-400.0	25.0		
5	111		-400.0	25.0		
4	6	АС-25	0.56			
6	7	АС-25	0.16			
7	101		-100.0	25.0		
6	8	A-35	0.96			
8	103		-63.0	25.0		
8	9	АС-25	0.88			
9	10	A-35	0.72			
10	104		-20.0	25.0		
10	11	АС-25	0.64			
11	12	АС-25	0.16			
12	107		-100.0	25.0		
11	13	АС-25	0.96			
13	108		-30.	25.0		
13	14	A-35	2.08			
14	15	A-35	1.36			
15	16	A-35	0.88			
16	109		-400.0	25.0		
15	17	АС-25	0.72			
17	110		-50.0	25.0		
14	18	АС-35	0.56			
18	19	АС-35	1.04			
19	106		-25.0	25.0		
18	20	АС-35	1.0			
20	105		-40.0	25.0		
**						N-я строка
*	КОЭФИЦИЕНТЫ P(U) : (A0, A1, A2, A3) и Q(U) : (B0, B1, B3) *					N+1 строка
1.	-0.75	4.75	2.51			N+2 строка
1.	3.	2.2				N+3 строка
						N+4 строка

Таблица 16

## Режимные данные по сети 6-20 кВ

3 ВАРИАНТ РЕЖИМНЫЕ ДАННЫЕ ФОРМИРУЮТСЯ АВТОМАТИЧЕСКИ: НАГРУЗКА -  
ПРОПОРЦИОНАЛЬНО S НОМ.

```

*****
*ПИТАЮЩАЯ ПОДСТАНЦИЯ*
*****
"ЗЯБРОВКА" 110/1
*****
*ПАРАМЕТРЫ ПИТАЮЩЕЙ ПОДСТАНЦИИ*
*****
KL  U ном сети  U ном ШИН НН  U НА ШИНАХ ВН
-   кВ          кВ          МАХ          МІN
*****
1   10.00       .38          10.50       10.20
*****
*РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ГОЛОВНОГО УЧАСТКА РЛ*
*****
КОД СХЕМЫ ЛИНИИ
922

МАКСИМАЛЬНЫЙ ТОК НА ГОЛОВНОМ УЧАСТКЕ      -      50.0000 А
КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ                       -      .900 О.Е.
ОТНОШЕНИЕ МИНИМ. НАГРУЗКИ К МАКСИМАЛЬНОЙ -      .25

```

Таблица 17

## Данные о схеме сети 6-20 кВ

\*\*\*\*\*

\* С Х Е М А С Е Т И \*

\*\*\*\*\*

НАЧАЛО	КОНЕЦ	МАРКА (ТИП)	ДЛИНА/-S ном	KTR*
ЦП	1	A-70	.00	.00
1	21	A-70	1.00	.00
21	2	ААШВ-95	.65	.00
2	3	A-70	4.30	.00
3	4	АС-25	.96	.00
4	5	A-70	2.40	.00
5	102		-400.00	25.00
5	111		-400.00	25.00
4	6	АС-25	.56	.00
6	7	АС-25	.16	.00
7	101		-100.00	25.00
6	8	A-35	.96	.00
8	103		-63.00	25.00
8	9	АС-25	.88	.00
9	10	A-35	.72	.00
10	104		-20.00	25.00
10	11	АС-25	.64	.00
11	12	АС-25	.16	.00
12	107		-100.00	25.00
11	13	АС-25	.96	.00
13	108		-30.00	25.00
13	14	A-35	2.08	.00
14	15	A-35	1.36	.00
15	16	A-35	.88	.00
16	109		-400.00	25.00
15	17	АС-25	.72	.00
17	110		-50.00	25.00
14	18	АС-35	.56	.00
18	19	АС-35	1.04	.00
19	106		-25.00	25.00
18	20	АС-35	1.00	.00
20	105		-40.00	25.00

\*\*\*\*\*

Таблица 18

Коэффициенты статических характеристик нагрузки  
(исходные данные)

\*\*\*\*\*

КОЭФИЦИЕНТЫ P(U) (A0, A1, A2, A3) и Q(U) (B0, B1, B2) \*

\*\*\*\*\*

A0=	1.000000	B0=	1.000000
A1=	-7.500000E-01	B1=	3.000000
A2=	4.750000	B2=	2.200000
A3=	2.510000		

## Токовые нагрузки ТП 6-20/0,38 кВ (определяются в процессе счета)

```

*****
РЕЖИМНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ПО ТП*
*****
ЧИСЛО УЗЛОВ = 11 *
*****
УЗЕЛ  S ном  ЗАГРУЗКА  ТОК      ВРЕМЯ      Cos Fi *
                ВН      НН
*****
102   400.0    .5   12.3   307.1   2800.0    .90
111   400.0    .5   12.3   307.1   2800.0    .90
101   100.0    .5    3.1    76.8   2400.0    .90
103    63.0    .5    1.9    48.4   2000.0    .90
104    20.0    .5    .6    15.4   1500.0    .90
107   100.0    .5    3.1    76.8   2400.0    .90
108    30.0    .5    .9    23.0   1500.0    .90
109   400.0    .5   12.3   307.1   2800.0    .90
110   50.0     .5    1.5    38.4   2000.0    .90
106   25.0     .5    .8    19.2   1500.0    .90
105   40.0     .5    1.2    30.7   2000.0    .90
*****

```

Таблица 20

Нагрузки ТП 6-20/0,38 кВ в мощностях  
(вычисляются программой)

```

*****
П/П PEREV
*****
*****
*      НАГРУЗКИ ТП БЕЗ СТАТХАРАКТЕРИСТИК      *
*****
*  N п/п * НОМЕР ШИН * АКТИВНАЯ * РЕАКТИВНАЯ *
*        * 0.38 кВ * кВт      * кВар      *
*****
*  1  * 102 * 181.93 * 88.11 *
*  2  * 111 * 181.93 * 88.11 *
*  3  * 101 * 45.48 * 22.03 *
*  4  * 103 * 28.65 * 13.88 *
*  5  * 104 * 9.10  * 4.41  *
*  6  * 107 * 45.48 * 22.03 *
*  7  * 108 * 13.64 * 6.61  *
*  8  * 109 * 181.93 * 88.11 *
*  9  * 110 * 22.74 * 11.01 *
* 10  * 106 * 11.37 * 5.51  *
* 11  * 105 * 18.19 * 8.81  *
*****

```

**Активные и реактивные сопротивления сети  
(вычисляются программой)**

\*\*\*\*\*

\*ПОДПРОГРАММА SOPR\*

\*\*\*\*\*

\*СОПРОТИВЛЕНИЯ УЧАСТКОВ ПРИВЕДЕНЫ К 10 КВ\*

\*\*\*\*\*

N1	N2	MAP	DLS	RU	DPKS	XU	UKS	DPXX	DQM
ЦП	1	A-70	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
1	21	A-70	1.000	.420	.000	.345	.000	.000	.000
21	2	ААШВ-95	.650	.221	.000	.054	.000	.000	.000
2	3	A-70	4.300	1.806	.000	1.484	.000	.000	.000
3	4	AC-25	.960	1.129	.000	.362	.000	.000	.000
4	5	A-70	2.400	1.008	.000	.828	.000	.000	.000
4	6	AC-25	.560	.659	.000	.211	.000	.000	.000
5	102		-400.000	3.688	5.900	11.250	4.500	1.080	12.000
5	111		-400.000	3.688	5.900	11.250	4.500	1.080	12.000
6	7	AC-25	.160	.188	.000	.060	.000	.000	.000
6	8	A-35	.960	.816	.000	.351	.000	.000	.000
7	101		-100.000	22.700	2.270	47.000	4.700	.365	2.600
8	103		-63.000	32.250	1.280	71.429	4.500	.220	1.764
8	9	AC-25	.880	1.035	.000	.332	.000	.000	.000
9	10	A-35	.720	.612	.000	.264	.000	.000	.000
10	104		-20.000	150.000	.600	275.000	5.500	.220	2.000
10	11	AC-25	.640	.753	.000	.241	.000	.000	.000
11	12	AC-25	.160	.188	.000	.060	.000	.000	.000
11	13	AC-25	.960	1.129	.000	.362	.000	.000	.000
12	107		-100.000	22.700	2.270	47.000	4.700	.365	2.600
13	108		-30.000	94.444	.850	183.333	5.500	.300	2.700
13	14	A-35	2.080	1.768	.000	.761	.000	.000	.000
14	15	A-35	1.360	1.156	.000	.498	.000	.000	.000
14	18	AC-35	.560	.442	.000	.205	.000	.000	.000
15	16	A-35	.880	.748	.000	.322	.000	.000	.000
15	17	AC-25	.720	.847	.000	.271	.000	.000	.000
18	19	AC-35	1.040	.822	.000	.381	.000	.000	.000
18	20	AC-35	1.000	.790	.000	.366	.000	.000	.000
16	109		-400.000	3.688	5.900	11.250	4.500	1.080	12.000
17	110		-50.000	52.800	1.320	110.000	5.500	.440	4.000
19	106		-25.000	110.400	.690	188.000	4.700	.125	.800
20	105		-40.000	62.500	1.000	117.500	4.700	.180	1.200

\*\*\*\*\*

\* РЕЖИМ БЕЗ Ктр и БЕЗ УЧЕТА P(U), Q(U) \*

\*\*\*\*\*

Таблица 22

## Потери напряжения от шин ЦП до шин 0,38 кВ ТП

*****						
* ПОТЕРИ НАПРЯЖЕНИЯ ОТ ШИН ЦП ДО ШИН 0.38 кВ ТП *						
*****						
* N п/п	* НОМЕР ШИН	* ПОТЕРИ НАПРЯЖЕНИЯ, %		* В РЕЖИМЕ *		
	* 0.38 кВ					
*****						
* -----	* -----	* НАИБ. НАГРУЗОК		* НАИМ. НАГРУЗОК *		
*****						
* 1	* 102	* 5.790	* 1.447			
* 2	* 111	* 5.790	* 1.447			
* 3	* 101	* 5.965	* 1.491			
* 4	* 103	* 6.141	* 1.535			
* 5	* 104	* 7.407	* 1.852			
* 6	* 107	* 7.171	* 1.793			
* 7	* 108	* 7.927	* 1.982			
* 8	* 109	* 8.071	* 2.018			
* 9	* 110	* 8.676	* 2.169			
* 10	* 106	* 8.263	* 2.066			
* 11	* 105	* 8.151	* 2.038			
*****						

Таблица 23

## Отклонения напряжения на шинах 0,38 кВ ТП

*****						
* ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ШИНАХ 0.38 кВ ТП *						
*****						
* N п/п	* НОМЕР ШИН	* ОТКЛОНЕНИЕ НАПР. , %		* В РЕЖИМЕ *		
	* 0.38 кВ					
*****						
* -----	* -----	* НАИБ. НАГРУЗОК		* НАИМ. НАГРУЗОК *		
*****						
* 1	* 102	* 4.432	* 5.845			
* 2	* 111	* 4.432	* 5.845			
* 3	* 101	* 4.247	* 5.799			
* 4	* 103	* 4.062	* 5.752			
* 5	* 104	* 2.730	* 5.419			
* 6	* 107	* 2.978	* 5.481			
* 7	* 108	* 2.182	* 5.282			
* 8	* 109	* 2.031	* 5.244			
* 9	* 110	* 1.394	* 5.085			
* 10	* 106	* 1.828	* 5.194			
* 11	* 105	* 1.946	* 5.223			
*****						

## Результаты расчета установившегося режима сети 6-20 кВ

НОМЕР		ПОТОК МОЩНОСТИ		ВЕТВИ: НАГРУЗКА; ЗАГРУЗКА; ЗАГРУЗКА		ПОТЕРИ МОЩНОСТИ		ПОТЕРИ		НАПРЯЖ.	
		НАЧАЛА: КОНЦА		АКТИВНЫЙ : РЕАКТИВН.		ВЕТВИ : ВЕТВИ		ТИП		АКТИВН.: РЕАКТ.	
		ВЕТВИ : ВЕТВИ		КВАР		А		ОТН.ЕД.		КВАР	
		КВТ		КВТ		КВТ		КВТ		КВ	
		ВЕТВИ		ВЕТВИ		ВЕТВИ		ВЕТВИ		ВЕТВИ	
		КВТ		КВТ		КВТ		КВТ		КВ	
ЦП	1	745.91	412.28	49.21	19	00	00	00	00	00	10.500
1	21	745.91	412.28	49.21	19	00	00	3.05	2.51	0.46	10.454
21	2	745.91	412.28	49.21	23	00	00	1.61	-39	0.19	10.436
2	3	745.91	412.28	49.21	19	00	00	13.12	10.78	1.96	10.240
3	4	745.91	412.28	49.21	38	00	00	8.20	2.63	0.099	10.141
4	5	366.02	200.22	24.09	09	00	00	1.75	1.44	0.53	10.087
4	6	379.89	212.06	25.12	19	00	00	1.25	0.40	0.029	10.111
5	102	181.93	88.11	11.67	00	51	00	1.51	4.60	1.66	3.397
5	111	181.93	88.11	11.67	00	51	00	1.51	4.60	1.66	3.397
6	7	45.85	24.63	3.00	02	00	00	0.01	0.00	0.001	10.110
6	8	334.04	187.43	22.11	13	00	00	1.20	0.52	0.034	10.077
7	101	45.48	22.03	2.92	00	51	00	0.58	1.20	0.207	3.396
8	103	28.65	13.88	1.84	00	51	00	0.33	0.72	0.192	3.395
8	9	305.17	171.79	20.22	16	00	00	1.27	0.41	0.037	10.040
9	10	305.17	171.79	20.22	12	00	00	0.75	0.32	0.023	10.017
10	104	9.10	4.41	0.58	00	51	00	0.15	0.28	0.258	3.390
10	11	295.85	165.38	19.57	15	00	00	0.86	0.28	0.026	9.991
11	12	45.85	24.63	3.00	02	00	00	0.01	0.00	0.001	9.990
11	13	250.00	140.75	16.56	13	00	00	0.93	0.30	0.033	9.957
12	107	45.48	22.03	2.92	00	51	00	0.58	1.20	0.207	3.391
13	108	13.64	6.61	0.88	00	51	00	0.22	0.42	0.250	3.388
13	14	236.06	131.44	15.60	09	00	00	1.29	0.56	0.052	9.906
14	15	206.19	115.13	13.63	08	00	00	0.64	0.28	0.030	9.876
14	18	29.87	16.32	1.97	01	00	00	0.01	0.00	0.002	9.904
15	16	183.01	100.11	12.04	07	00	00	0.33	0.14	0.017	9.859
15	17	23.18	15.01	1.59	01	00	00	0.01	0.00	0.002	9.874
18	19	11.50	6.31	0.76	00	00	00	0.00	0.00	0.001	9.903
18	20	18.37	10.01	1.21	01	00	00	0.00	0.00	0.002	9.902
16	109	181.93	88.11	11.67	00	51	00	1.51	4.60	1.66	3.388
17	110	22.74	11.01	1.46	00	51	00	0.34	0.70	0.241	3.385
19	106	11.37	5.51	0.73	00	51	00	0.18	0.30	0.229	3.387
20	105	18.19	8.81	1.17	00	51	00	0.26	0.48	0.217	3.387

СУММАРНЫЕ ПОТЕРИ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СХЕМЕ - 43.419180  
СУММАРНЫЕ ПОТЕРИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СХЕМЕ - 40.047400

Таблица 25

**Нагрузки ТП 6-20/0,38 кВ, пересчитанные с учетом  
статических характеристик нагрузки**

```

*****
П/П PEREV
*****
*
*   НАГРУЗКИ ТП СО СТАТХАРАКТЕРИСТИКАМИ   *
*   *****                               *
*  N п/п * НОМЕР ШИН * АКТИВНАЯ * РЕАКТИВНАЯ *
*         * 0.38 кВ  * кВт      * кВар     *
*   *****                               *
*  1     * 102     * 177.62 * 100.21  *
*  1     * 102     * 177.62 * 100.21  *
*  2     * 111     * 177.62 * 100.21  *
*  2     * 111     * 177.62 * 100.21  *
*  3     * 101     * 44.43  * 24.92   *
*  3     * 101     * 44.43  * 24.92   *
*  4     * 103     * 28.01  * 15.62   *
*  4     * 103     * 28.01  * 15.62   *
*  5     * 104     * 8.94   * 4.77    *
*  5     * 104     * 8.94   * 4.77    *
*  6     * 107     * 44.66  * 24.04   *
*  6     * 107     * 44.66  * 24.04   *
*  7     * 108     * 13.45  * 7.05    *
*  7     * 108     * 13.45  * 7.05    *
*  8     * 109     * 179.52 * 93.56   *
*  8     * 109     * 179.52 * 93.56   *
*  9     * 110     * 22.52  * 11.48   *
*  9     * 110     * 22.52  * 11.48   *
* 10     * 106     * 11.23  * 5.81    *
* 10     * 106     * 11.23  * 5.81    *
* 11     * 105     * 17.96  * 9.33    *
* 11     * 105     * 17.96  * 9.33    *
*   *****                               *

```

## Литература

1. Лычев П.В., Федин В.Т. Электрические системы и сети. Решение практических задач. – Мн.: Дизайн ПРО, 1997.
2. Солдаткина Л.А. Регулирование напряжения в городских сетях. – М.-Л. : Энергия, 1970.
3. Карпов Ф.Ф., Солдаткина Л.А. Регулирование напряжения в электросетях промышленных предприятий.-М.:Энергия, 1970.
4. Керного В.В., Поспелов Г.Е., Федин В.Т. Местные электрические сети.-Мн.: Вышэйшая школа, 1972.
5. Лычев П.В., Федин В.Т. Электрические сети энергетических систем.-Мн.: Універсітэцкае, 1999.

*Учебное издание*

Федин В.Т.  
Фурсанов М.И.

**ВЫБОР РЕЖИМОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ  
В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ**

*Учебно-методическое пособие*

Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Таймс.  
Усл. печ. л. 2,5. Уч.-изд. л. 1,9. Тираж 120 экз. Зак. 1142.

Отпечатано на УП «Технопринт» с оригинал-макета заказчика, ЛП № 203 от 26.01.1998  
220027, Минск, пр-т Ф. Скорины, 65, корп. 14, оф. 215, тел. 231-86-93