



Энергетический факультет

Кафедра электротехники и электроснабжения

Л. И. Васильев

Н. В. Васильев

Е. А. Тур

**РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
ПО ЭКОНОМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ**

**Методические указания по выполнению
индивидуального расчетного задания
по дисциплине
«Электрические сети»**

Санкт-Петербург
2011 г.

1. Исходные положения

Электроэнергия, необходимая для работы электроприемников сельских потребителей, передается по электрическим сетям, которые выполняются воздушными линиями электропередачи (ВЛЭП) низкого 0,38 кВ и среднего напряжения 6 или 10кВ. [1]

Протяженность таких сетей оказывается весьма большой и для снижения экономических затрат на их строительство и эксплуатацию дешевле их выполнять в виде воздушных линий. [2]

Электрический расчет ВЛЭП сводится к определению **экономического сечения** $F_э$ проводов линии.

Оно должно быть оптимальным для обеспечения минимальных **приведенных затрат** на передачу электроэнергии по проводам от источника питания до потребителей, которые включают две экономические составляющие:

1. *капитальные затраты* на первоначальное строительство сети;
2. *среднегодовые эксплуатационные расходы* – потери электроэнергии, расходы по обслуживанию, ремонту, амортизации сетей.

Наиболее точным методом электрического расчета сельских распределительных сетей 10(6)кВ является расчет по **экономическим интервалам нагрузок**. [3]

По справочным таблицам можно выбрать сечения и марки проводов в зависимости от нагрузки, климатического района (в котором сооружается линия), материала опор.

При выборе марок и сечений проводов необходимо учитывать и требования к механической прочности. [5]

Так по условиям механической прочности (при толщине стенки гололеда 15 мм – для Санкт-Петербурга и области) на ВЛЭП выше 1кВ следует применять сталеалюминиевые провода сечением не менее 35 мм² или алюминиевые сечением не менее 70 мм².

Выборные сечения проводов ВЛЭП должны обеспечивать необходимое качество поставляемой электроэнергии у потребителей, что определяется такой характеристикой качества электроэнергии, как **допустимые отклонения напряжения**. [7]

Рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией Энергетического факультета (протокол № от 2011 г.) и методическим советом СПбГАУ (протокол № от 2011 г.)

Для студентов 4 курса Энергетического факультета по специальности:

140106 – энергообеспечение предприятий.

Рецензент – кандидат технических наук, доцент кафедры ЭОП Пиркин А.Г.

© Санкт-Петербургский государственный аграрный университет
2011 г.

Отклонения напряжения — разница между фактическим напряжением сети в установившемся режиме и его номинальным значением (рисунок 1.1).

Отклонения напряжения во многом определяются суммарными потерями напряжения на всех участках системы электроснабжения. Выбранные сечения проводов ВЛЭП должны обеспечивать допустимые потери напряжения, которые можно определить по таблицам отклонений

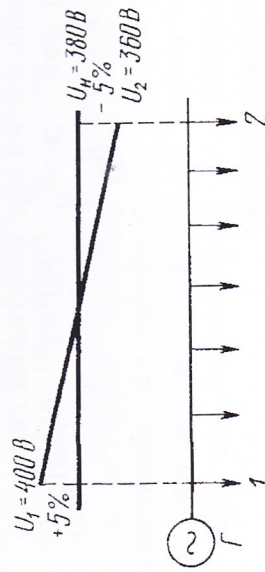


Рисунок 1.1. Номинальные и действительные напряжения в различных точках линии.

Обеспечение допустимых потерь напряжения, а, следовательно, и допустимых отклонений гарантирует нормальные условия работы электроприемников и увеличивает их срок службы.

Если выбранные сечения проводов ВЛЭП не обеспечивают допустимые потери напряжения, то необходимо на головных участках линий заменить провод на другой с большим сечением так, чтобы фактические потери напряжения в сети были меньше или равны допустимым.

2. Содержание расчетного задания

Цель расчетного задания:

Произвести электрический расчет сети 10(6)кВ и выбрать сечения проводов по интервалам экономических нагрузок с проверкой по допустимой потере напряжения.

Пояснительная записка выполняется рукописным или машинописным способом (с использованием компьютерных графических и расчетных программ) на стандартных листах формата

A4 размером 210x297 мм в объеме 4-5 листов, соблюдая требования ГОСТ 2.195-95.

Исходные данные выбираются по таблицам, приведенным в Приложении 1 настоящего пособия, в соответствии с шифром, заданным преподавателем.

Пример выполнения варианта расчетного задания приведен в п.4 данного пособия.

3. Этапы расчета

Электрический расчет ВЛЭП среднего 10(6)кВ напряжения по экономическим показателям проводится следующим образом:

I. В соответствии с шифром выбираются исходные данные, представленные в табличной форме из таблиц Приложения 1.

II. На расчетную схему (рисунок 1.1 Приложения 1) переносятся исходные данные: мощности ТП, длины участков.

После расчетов на участках сети указываются марка и сечение проводов, наибольшие потери напряжения от питающих шин до самого удаленного потребителя, подключенного к сети.

III. Определение расчетной нагрузки S_{max} можно выполнить с использованием коэффициента одновременности, либо методом добавок мощностей (таблицы 2.1 и 2.2 Приложения 2). [6]

Первый способ используется, если суммируемые нагрузки по величине не отличаются более, чем в 3-4 раза.

Тогда расчетные нагрузки определяются по формулам:

$$P_{расч} = k_o^n \sum_1^n P_i \quad (3.1)$$

$$Q_{расч} = k_o^n \sum_1^n Q_i \quad (3.2)$$

$$S_{расч} = \sqrt{P_{расч}^2 + Q_{расч}^2} \quad (3.3)$$

где P_i , Q_i — соответственно активная и реактивная мощности i -го потребителя однородной группы, кВт, квар; k_o^n — коэффициент одновременности, зависящий от количества потребителей, входящих в

однородную группу, значения которого определяются по таблице 2.1. Приложение 2.

Второй способ используется, если нагрузки потребителей в группе отличаются по значению более, чем в 4 раза.

Тогда расчетная нагрузка определяется по формуле:

$$P = P_6 + \Delta P, \quad (3.4)$$

$$Q = Q_6 + \Delta Q, \quad (3.5)$$

где P_6, Q_6 – бо'льшие из нагрузок, кВт; $\Delta P, \Delta Q$ – добавки к меньшим слагаемых нагрузок, значения которых определяются по таблице 2.2. Приложение 2.

IV. Определяется эквивалентная мощность S_3 (кВА) по формуле:

$$S_3 = k_D \cdot S, \quad (3.6)$$

где k_D – коэффициент динамики роста нагрузки в первые годы эксплуатации ВЛЭП (исходные данные из таблицы 1.1 Приложения 1).

V. По величине S_3 выбираются интервалы экономических нагрузок и соответствующие им сечения и марки проводов на каждом участке ВЛЭП (таблица 2.3 Приложение 2).

VI. Определяются потери напряжения на участках ВЛЭП по формуле:

$$\Delta U\% = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{10U_{ном}^2}, \quad (3.7)$$

$$R = r_0 \cdot l, \quad X = x_0 \cdot l, \quad (3.8)$$

где r_0, x_0 – соответственно удельные активное и реактивное сопротивления провода (таблица 2.4 Приложение 2, $x_0 = 0,4$), Ом/км;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение сети, кВ; l – длина участка сети, км.

VI. Определяются потери напряжения от питающих шин до самой удаленной ТП, подключенной к сети по формуле:

$$\Delta U_{от шин} = \sum_{i=1}^n \Delta U_i \leq \Delta U_{доп/шин}, \quad (3.9)$$

где n – число участков от шин питающей подстанции до ТП (по прямому пути тока без учета ответвлений), шт; ΔU_i – потеря напряжения на i -ом участке сети, %; $\Delta U_{доп}$ – допустимая потеря напряжения, %.

Если потеря напряжения превысит допустимое значение, то нужно увеличить сечение провода на головных участках линии или на всей магистрали.

Результаты расчетов сводятся в таблицу 3.1.

Таблица 3.1.

Результаты электрического расчета сети 10(6)кВ

Участок	Длина, км	P, кВА	Q, квар	S, кВА	S ₃ , кВА	I _p , А	Марка и сечение провода	R, Ом	X, Ом	Потери ΔU%	
										на уч-ке	от шин

4. Пример выполнения варианта расчетного задания по шифру 157

4.1. Цель задания: произвести электрический расчет ВЛЭП 10кВ, т.е. определить экономические сечения проводов по экономическим интервалам нагрузок и обеспечить допустимые потери напряжения на участках сети и от питающих шин до самого удаленного потребителя, подключенного к сети.

4.2. Исходные данные для расчета:

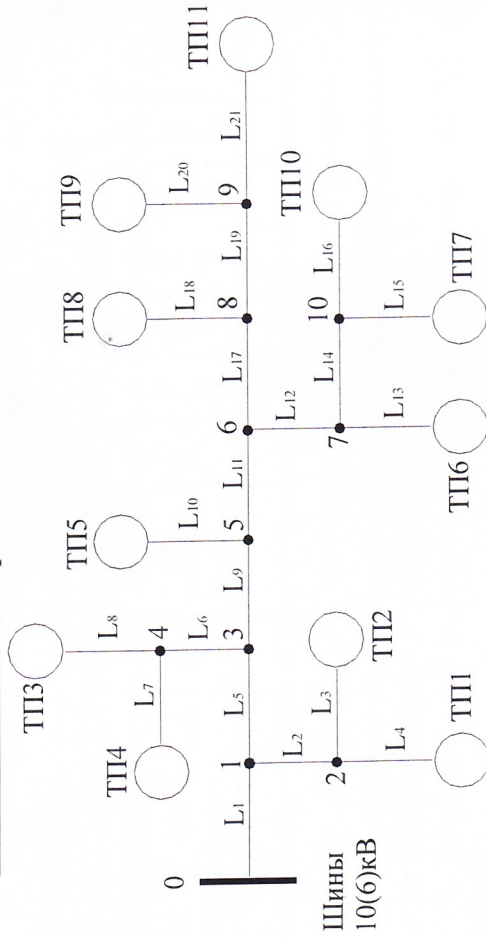


Рисунок 4.1. Схема ВЛЭП 10кВ

(первая цифра шифра – 1 вариант схемы)

Таблица 4.1.

Исходные данные нагрузок ТП (вторая цифра шифра – 5 вариант)

ТП1	ТП2	ТП3	ТП4	ТП5	ТП6	ТП7
154/160	86/100	213/160	84/100	35/40	58/63	146/160
ТП8	ТП9	ТП10	ТП11	$U_{ном}, \text{кВ}$	k_d	$\cos \varphi$
240/250	76/100	145/160	36/40	10	0,85	0,9

Таблица 4.2.

Длина участков воздушной линии 10, км
(третья цифра шифра – 7 вариант)

L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}
2,8	2,0	2,1	2,1	1,5	1,5	2,8	2,5	0,7	2,0

L_{11}	L_{12}	L_{13}	L_{14}	L_{15}	L_{16}	L_{17}	L_{18}	L_{19}	L_{20}	L_{21}
1,1	1,4	1,5	1,4	0,7	1,3	1,0	1,8	0,8	2,6	0,8

4.3. Выполнение расчетной схемы ВЛЭП 10кВ:

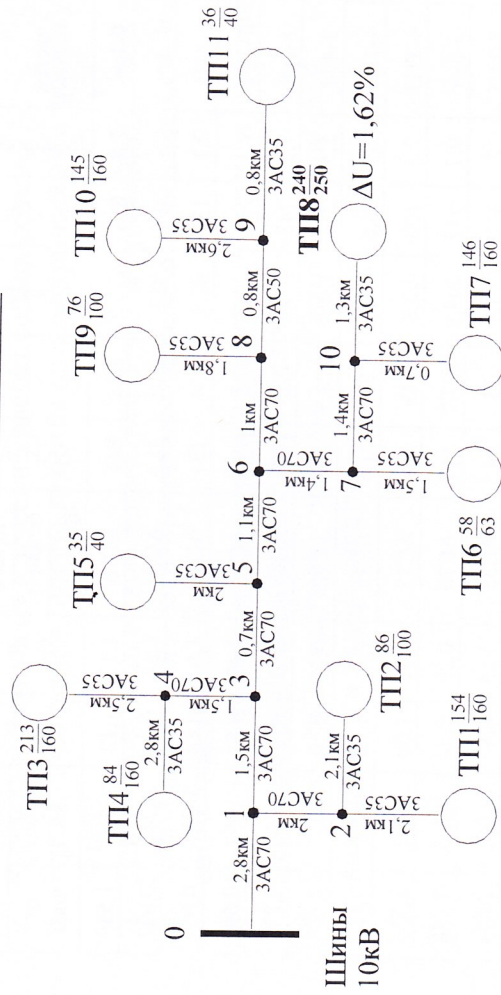


Рисунок 4.2. Расчетная схема сети 10кВ

4.4. Определение расчетной максимальной (суммарной) нагрузки S_{max} на участках ВЛЭП методом добавок мощностей.

В соответствии с методикой п.3 данного пособия по формуле (3.1) производится суммирование нагрузок на участках сети 10кВ.

Пример суммирования нагрузок участка 0-1:

$$S = S_{1-3,уч} + \Delta S_{1-2,уч} = 825 + \Delta 218 = 995 \text{ кВА.}$$

4.5. Определение эквивалентной мощности.

Для участка 0-1: $S_9 = k_d \cdot S = 0,85 \cdot 995 = 846 \text{ кВА.}$

4.6. По величине S_3 выбирается интервал экономических нагрузок и соответствующее ему сечение и марка провода на каждом участке ВЛЭП по таблице 2.3 Приложения 2:

Выбран сталеалюминевый провод марки АС сечением 70 мм².

4.7. Определяются потери напряжения на участках ВЛЭП.

$$\text{Для участка 0-1: } \Delta U\% = \frac{896 \cdot 1,18 + 433,7 \cdot 1,12}{10 \cdot 10^2} = 1,539\%.$$

Таблица 4.3.

Результаты электрического расчета сети 10кВ

Участок	Длина, км	$\frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{к}}}$	$\frac{Q_{\text{н}}}{Q_{\text{к}}}$	$\frac{I_{\text{н}}}{I_{\text{к}}}$	$\frac{S_{\text{н}}}{S_{\text{к}}}$	Марка и сечение проводов		R, Ом	X, Ом	Потери DU%	
						R, Ом	X, Ом			на уч-ке	от шин
0-1уч	2,8	896	433,7	995	846	АС70	1,18	1,12	1,12	1,539	1,539
1-2уч	2	196	95,0	218	185	АС70	0,84	0,80	0,80	0,241	0,697
2-ТП1	2,1	139	67,1	154	131	АС35	1,62	0,84	0,84	0,281	0,697
2-ТП2	2,1	73,8	35,7	82	69,7	АС35	1,62	0,84	0,84	0,150	0,697
1-3уч	1,5	743	359,6	825	701	АС70	0,63	0,60	0,60	0,684	2,223
3-4уч	1,5	251	121,4	278,5	237	АС70	0,63	0,60	0,60	0,231	2,453
4-ТП4	2,8	75,6	36,6	84	71,4	АС35	2,16	1,12	1,12	0,205	2,658
4-ТП3	2,5	192	92,8	213	181	АС35	1,93	1,00	1,00	0,463	2,917
3-5уч	0,7	547	264,9	607,7	517	АС70	0,29	0,28	0,28	0,235	2,458
5-ТП5	2	31,5	15,3	35	29,8	АС35	1,55	0,80	0,80	0,061	2,518
5-6уч	1,1	522	253,0	580,4	493	АС70	0,46	0,44	0,44	0,353	2,810
6-7уч	1,4	359	174,0	399,1	339	АС70	0,59	0,56	0,56	0,309	3,119
7-ТП6	1,5	52,2	25,3	58	49,3	АС35	1,16	0,60	0,60	0,076	3,194
7-10уч	1,4	319	154,3	353,9	301	АС70	0,59	0,59	0,56	0,274	3,392
10-ТП7	0,7	131	63,6	146	124	АС35	0,54	0,28	0,28	0,089	3,481
10-ТП8	1,3	216	104,6	240	204	АС35	1,00	0,52	0,52	0,271	3,664
6-8уч	1	209	101,3	232,4	198	АС70	0,42	0,40	0,40	0,128	2,939
8-ТП9	1,8	68,4	33,1	76	64,6	АС35	1,39	0,72	0,72	0,119	3,058
8-9уч	0,8	156	75,5	173,1	147	АС70	0,34	0,32	0,32	0,076	3,015
9-ТП10	2,6	131	63,2	145	123	АС35	2,01	1,04	1,04	0,328	3,343
9-ТП11	0,8	32,4	15,7	36	30,6	АС35	0,62	0,32	0,32	0,025	3,040

4.8. Определение потери напряжения от питающих шин до самой удаленной ТП, подключенной к сети.

Максимальные потери напряжения составляют 3,7%, что, в соответствии с заданием меньше максимально допустимых $\pm 7\%$, следовательно, рассчитанная сеть 10 кВ позволяет потребителям качественную электроэнергию.

Расчет остальных участков представлен в таблице 4.3.

5. Контрольные вопросы для защиты

1. В чем заключаются особенности сельского электроснабжения?
2. К чему сводится электрический расчет сельских сетей?
3. Какие требования предъявляются к электрическому расчету сетей?
4. Дайте определение экономического сечения проводов?
5. Какой показатель сети определяет качество передаваемой по сетям электроэнергии?
6. Каковы допустимые потери напряжения в сети и каковы мероприятия по снижению потерь напряжения?
7. В чем заключаются методы добавок мощностей и коэффициента однородности?

Исходные данные нагрузок ТП

	Вариант (вторая цифра шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
ТП1	62/63	80/100	68/63	19/25	154/160	81/100	114/100	52/63	32/40	28/40
ТП2	48/40	60/63	105/100	165/100	86/100	26/25	76/100	81/100	49/63	199/160
ТП3	140/160	50/63	42/40	115/100	213/160	154/160	24/25	147/160	147/160	68/63
ТП4	185/160	90/100	48/40	62/63	84/100	98/100	75/100	84/100	66/63	35/40
ТП5	72/63	140/160	105/100	58/63	35/40	48/40	149/160	222/160	212/160	195/160
ТП6	98/100	150/160	250/250	33/40	58/63	89/100	92/100	181/160	96/100	76/100
ТП7	29/40	90/100	68/63	230/160	146/160	181/160	78/100	55/63	155/160	87/100
ТП8	105/100	45/40	62/63	175/160	240/250	54/63	149/160	24/25	77/100	25/25
ТП9	52/63	55/63	108/100	66/63	76/100	69/63	152/160	133/160	53/63	111/100
ТП10	26/25	56/63	164/160	190/160	145/160	212/160	145/160	212/160	215/160	15/25
ТП11	48/40	100/100	45/40	92/100	36/40	105/100	52/63	36/40	200/160	326/250
$U_{ном}, кВ$	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6
$k_{дл}$	0,7	0,77	0,75	0,8	0,7	0,74	0,8	0,7	0,75	0,8
$cos\phi$	0,75	0,8	0,86	0,87	0,9	0,92	0,78	0,84	0,85	0,9
$\Delta U_{ном}, \%$	5	7	6	8	7	6	9	8	7	5

Примечание: 62/63 – в числителе: расчетная нагрузка ТП, в знаменателе: установленная мощность ТП, кВА.

Приложение 1
Исходные данные для выполнения расчетного задания

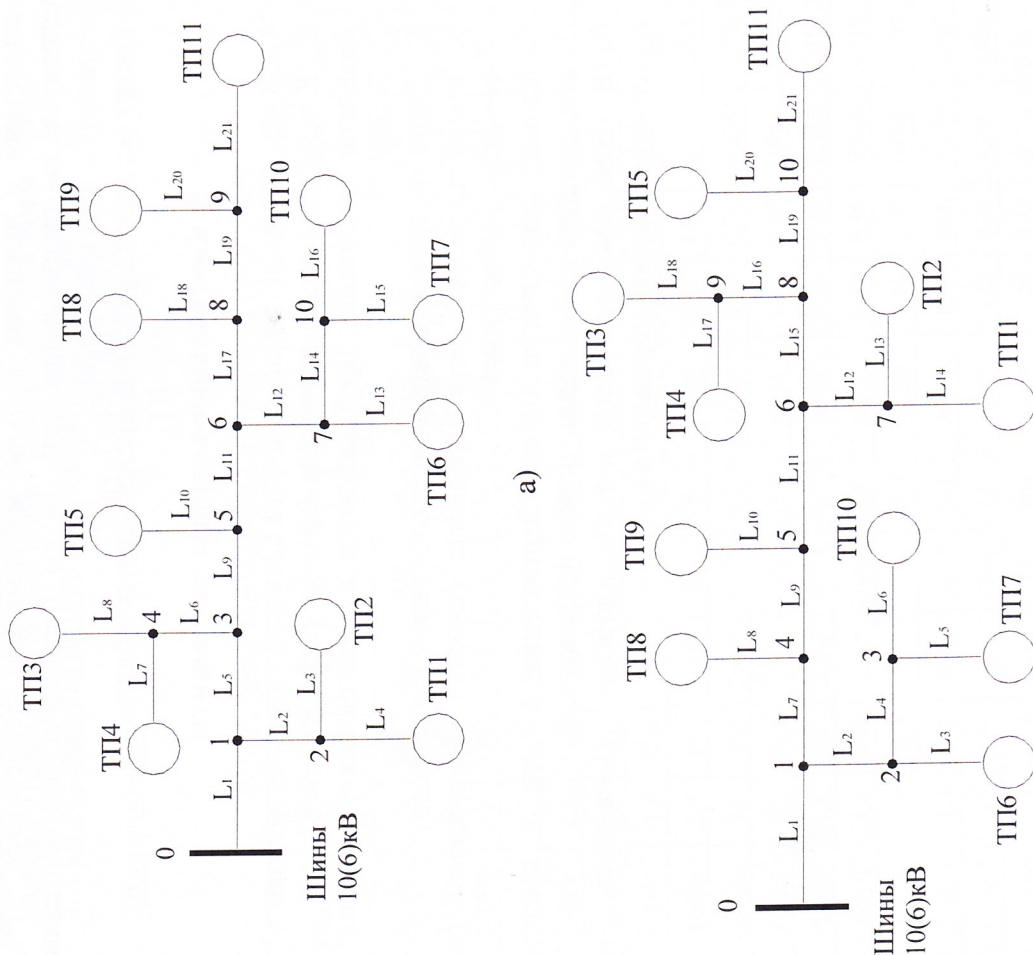


Рисунок 1.1. Варианты схем ВЛЭП 10(6)кВ:
а) 1 вариант; б) 2 вариант

Справочные материалы

Таблица 2.1.

Коэффициенты одновременности для расчета нагрузок в сети 0,38кВ

Число потребителей	Жилые дома с нагрузкой		Жилые дома с электроплитами	Производственные потребители
	до 2 кВт	свыше 2 кВт		
2	0,76	0,75	0,73	0,85
3	0,66	0,64	0,62	0,80
5	0,55	0,53	0,50	0,75
10	0,44	0,42	0,38	0,65
20	0,37	0,34	0,29	0,55
50	0,3	0,27	0,22	0,47
100	0,26	0,24	0,17	0,40
200	0,24	0,20	0,15	0,35
500 и более	0,22	0,18	0,12	0,30

Таблица 2.2.

Добавки мощностей для суммирования нагрузок в сети 10(6) кВ

P_M	ΔP	P_M	ΔP	P_M	ΔP	P_M	ΔP
1	0,6	80	59,5	280	220	580	465
2	1,2	90	67,0	300	235	600	483
4	2,5	100	74,5	320	251	650	525
6	3,7	110	82	340	267	700	570
8	5,0	120	90	360	283	750	610
10	6,3	130	98	380	299	800	650
15	9,7	140	106	400	315	850	695
20	13,0	150	115	420	332	900	740
25	16,5	160	123	440	348	950	785
30	20,4	170	131	460	365	1000	860
35	24,4	180	139	480	382	1100	918
40	28,4	190	147	500	400	1200	1005
45	32,4	200	155	520	416	1300	1093
50	36,5	220	170	540	432	1400	1182
60	44,0	240	186	560	448	1500	1270
70	52,0	260	204	580	465		

Таблица 1.2.

Длина участков воздушной линии 10(6), км

Расчетный участок	Вариант (третья цифра шифра)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
L ₁	2	1,5	1,8	1,3	2,3	2,5	2,8	1,6	1,0	1,2	
L ₂	2,3	2,0	2,1	2,2	2,5	2,4	2,0	2,7	3,0	3,1	
L ₃	1,8	1,7	1,5	1,4	2,0	1,9	2,1	2,3	2,5	0,8	
L ₄	0,6	0,5	0,7	0,9	1,0	2,0	2,1	1,5	1,6	1,3	
L ₅	2,3	2,1	2,2	2,4	2,5	1,8	1,5	2,6	1,7	1,2	
L ₆	1,0	1,1	1,2	2,0	1,5	2,0	1,5	1,9	1,4	0,5	
L ₇	1,2	1,3	1,0	1,5	3,0	1,6	0,8	2,1	1,1	1,4	
L ₈	1,1	1,2	1,0	0,8	0,1	3,1	2,5	1,8	0,9	2,1	
L ₉	1,2	1,4	1,3	1,5	1,8	2,0	0,7	2,1	1,7	0,6	
L ₁₀	0,8	1,0	0,7	0,4	1,1	1,1	2,0	0,3	0,9	2,1	
L ₁₁	0,6	0,8	0,5	1,0	2,0	0,4	1,1	1,2	1,4	0,5	
L ₁₂	0,7	0,3	1,0	1,2	0,4	1,1	1,4	0,5	0,8	0,9	
L ₁₃	0,5	0,2	1,2	0,8	1,1	2,8	1,5	0,7	2,0	1,8	
L ₁₄	1,2	1,0	2,0	1,3	0,8	1,1	1,4	1,8	1,5	1,7	
L ₁₅	0,4	0,2	1,1	0,3	1,3	0,8	0,7	1,2	1,5	0,6	
L ₁₆	0,6	1,0	1,5	1,6	2,1	1,7	1,3	0,5	1,1	0,4	
L ₁₇	2,1	2,0	1,8	3,1	0,4	1,6	1,0	1,5	1,2	1,8	
L ₁₈	1,9	2,0	1,5	4,0	2,1	3,2	1,8	2,3	0,7	1,0	
L ₁₉	1,4	1,0	1,2	1,0	0,9	1,5	0,8	1,3	2,0	1,7	
L ₂₀	0,9	0,5	0,3	4,3	1,4	0,8	2,6	0,9	1,5	0,4	
L ₂₁	1,1	1,0	0,5	0,7	0,2	2,0	0,8	1,8	1,5	1,4	

Таблица 2.3.

Интервалы экономических нагрузок для выбора сечений проводов ВЛЭП 10(6) кВ на железобетонных опорах, кВА.

Марка провода	АС35	А50;АС50	А70; АС70	А95; АС95	А120; АС120
Интервал нагрузок кВА	0-525	526-815	816-1110	1111-1300	Более 1300

Таблица 2.4.

Удельные активные сопротивления алюминиевых и сталеалюминевых проводов

Алюминиевые провода		Сталеалюминевые провода	
Сечение, мм ²	Удельное сопротивление, Ом/км	Сечение, мм ²	Удельное сопротивление, Ом/км
16	1,80	35/6,2	0,773
25	1,14	50/8	0,592
35	0,830	70/11	0,420
50	0,576	70/72	0,420
70	0,412	95/16	0,299
95	0,308	95/14	0,314
120	0,246	95/141	0,316
150	0,194	120/19	0,245
185	0,157	120/27	0,249

Примечание: удельное реактивное сопротивление ВЛЭП 10(6)кВ
 $x_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$.

Список используемой литературы

1. Б о р о в и к о в В. А., К о с а р е в В. К., Х о д о т Г. А. Электрические системы и сети. – Л.: «ЭНЕРГИЯ», 1968. – 430 с.
2. С о л д а т к и н а Л. А. Электрические системы и сети. – М.: «ЭНЕРГИЯ», 1978. – 215 с.
3. Б у д з к о И. А. и др. Электроснабжение сельского хозяйства. / И. А. Будзко, Т. Б. Лещинская, В. И. Сукманов. – М.: Колос, 2000. – 536 с.
4. Электрические сети и станции. Под ред. Л. Н. Б а п т и д а н о в а. – М.: ГОСЭНЕРГОИЗДАТ, 1963. – 464 с.
5. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. – СПб: издательство ДЕАН, 2007. – 625 с.
6. Б у д з к о И. А. и др. Электроснабжение сельского хозяйства: Методические указания по изучению дисциплины и задания для контрольной работы и курсового проекта / Всесоюзн. с.-х. ин-т зоач. образования. – М., 1989, 82 с.
7. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

СОДЕРЖАНИЕ:

1. Исходные положения	3
2. Содержание расчетного задания	5
3. Этапы расчета	5
4. Пример выполнения варианта расчетного задания шифр 157	8
5. Контрольные вопросы для защиты	11
Приложение 1. Исходные данные для выполнения расчетного задания	13
Приложение 2. Справочные материалы	15
Список используемой литературы	17

РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПО ЭКОНОМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Методические указания по выполнению индивидуального расчетного задания по дисциплине «Электрические сети»

Авторы
Л.И. Васильев
Н.В. Васильев
Е.А. Тур

Редактор
Е.А. Тур

Кафедра Электротехники и электроснабжения
Санкт-Петербургский государственный
аграрный университет
г. Пушкин, ул. Садовая, 14