



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П.О. Сухого»

Кафедра «Электроснабжение»

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

ПОСОБИЕ

по курсовому и дипломному проектированию

для студентов специальности

1-43 01 03 «Электроснабжение»

дневной и заочной форм обучения

Гомель 2006

УДК 621.311(075.8)
ББК 31.27я73
Э45

*Рекомендовано научно-методическим советом
заочного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого*

Авторы-составители: *П. В. Лычев, О. М. Головач*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого *Т. В. Алферова*

Э45 **Электрические системы и сети** : пособие по курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение» днев. и заоч. форм обучения / авт.-сост.: П. В. Лычев, О. М. Головач. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2006. – 41 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://gstu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.

В пособии приводятся основные технические и расчетные данные по электрооборудованию, воздушным и кабельным линиям, применяемым в электрических сетях.

Для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение». Может быть использовано при выполнении курсовых и дипломных проектов, контрольных работ, на практических и лабораторных занятиях по курсу «Электрические системы и сети».

**УДК 621.311(075.8)
ББК 31.27я73**

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2006

1 СИЛОВЫЕ ТРЕХФАЗНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

В разделе содержатся сведения о силовых масляных трехфазных трансформаторах классов напряжения 10, 35, 110, 220 кВ, которые выполнены с независимыми обмотками (собственно трансформаторы) и с гальванически связанными (автотрансформаторами); а также с расщепленной обмоткой низшего напряжения. Обозначения типов трансформаторов приведены на рис. 1.1.

Разница между трехобмоточными трансформаторами и трансформаторами с расщепленной обмоткой заключается в следующем: у первых суммарная мощность обмоток вторичных напряжений всегда больше мощности обмотки высшего напряжения, у вторых мощности обмоток низших напряжений одинаковы и в сумме равны мощности обмотки высшего напряжения. У трехобмоточных трансформаторов мощности всех трех обмоток равны, у автотрансформаторов мощности обмоток ВН и СН равны, а обмотка НН имеет пониженную мощность.

Трансформаторы и автотрансформаторы выпускаются с различными системами регулирования напряжения. Различают трансформаторы с регулированием напряжения при снятой нагрузке (переключение ответвлений обмоток без возбуждения – ПБВ) и с регулированием напряжения под нагрузкой (РПН). Регулировочные ответвления размещаются, как правило, у трансформаторов на стороне ВН, а у автотрансформаторов – на стороне СН.

Сведения о трансформаторах, основные каталожные и расчетные данные приведены в табл. 1.1 – 1.7.



Рис. 1.1 Обозначение типов трансформаторов

Таблица 1.1 Трехфазные двухобмоточные трансформаторы 6, 10 кВ

Тип	$S_{\text{ном}}$, кВ·А	Каталожные данные					Расчетные данные			
		$U_{\text{ном}}$ обмоток, кВ		$U_{\text{к}}$, %	$\Delta P_{\text{к}}$, кВт	$\Delta P_{\text{х}}$, кВт	$I_{\text{х}}$, %	$R_{\text{т}}$, Ом	$X_{\text{т}}$, Ом	$Q_{\text{х}}$, квар
		ВН	НН							
ТМ-25/6	25	6,3	0,4; 0,23	4,5 – 4,7	0,6 – 0,69	0,105 – 0,125	3,2	39,60	54	0,8
ТМ-25/10	25	10	0,4; 0,23	4,5 – 4,7	0,6 – 0,69	0,105 – 0,125	3,2	110	150	0,8
ТМ-40/6	40	6,3	0,23	4,5 – 4,7	0,88	0,24	4,5	19,80	35,4	1,8
ТМ-40/10	40	10	0,4	4,5	0,88 - 1	0,15 – 0,18	3,0	62,50	99	1,2
ТМ-63/6	63	6,3	0,4; 0,23	4,5 – 4,7	1,28 – 1,47	0,36	4,5	13,30	23,2	1,76
ТМ-63/10	63	10	0,4; 0,23	4,7	1,28 – 1,47	0,22	2,8	37	70,5	1,76
ТМ-100/6	100	6,3	0,4; 0,23	4,5 – 4,7	1,97 – 2,27	0,31 – 0,365	2,6	8,18	14,7	2,6
ТМ-100/10	100	10	0,4; 0,23	4,5 – 4,7	1,97 – 2,27	0,31 – 0,365	2,6	22,70	40,8	2,6
ТМ-160/6-10	160	6,3; 10	0,4; 0,23; 0,69	4,5 – 4,7	2,67 – 3,1	0,46 – 0,54	2,4	4,35	10,2	3,8
ТМ-250/10	250	10	0,4; 0,23	4,5 – 4,7	3,7 – 4,2	1,05	2,3 – 3,7	6,70	15,6	9,2
ТМ-400/10	400	10	0,4; 0,23; 0,69	4,5	5,5 – 5,9	0,92 – 1,08	2,1 – 3,0	3,70	10,6	12,0
ТМ-630/10	630	10	3,15; 0,23; 0,4; 0,69	5,5	7,6 – 8,5	1,42 – 1,68	2,0 – 3,0	2,12	8,5	18,9
ТМ-1000/6	1000	6,3	3,15; 0,23; 0,4; 0,69	8	12,2	2,3 – 2,75	1,5	0,44	2,84	15
ТМ-1000/10	1000	10	3,15; 0,23; 0,4; 0,69	5,5	12,2 – 11,6	2,1 – 2,45	1,4 – 2,8	1,22	5,35	26
ТМ-1600/10	1600	10	0,4; 3,15; 0,69	5,5	18	2,8 – 3,3	1,3 – 2,6	0,70	3,27	41,6
ТМ-2500/10	2500	10	0,4; 0,69; 3,15; 6,3	5,5	25 – 23,5	3,9 – 4,6	1,0	0,40	2,16	25

Таблица 1.2 Трехфазные двухобмоточные трансформаторы 35 кВ

Тип	$S_{\text{ном}}$, МВ·А	Пределы ре- гулирования	Каталожные данные					
			$U_{\text{ном}}$ обмоток, кВ		$U_{\text{к}}$, %	$\Delta P_{\text{к}}$, кВт	$\Delta P_{\text{х}}$, кВт	$I_{\text{х}}$, %
			ВН	НН				
ТМ-100/35	0,1	$\pm 2 \times 1,5\%$	35	0,4	6,5	1,9	0,5	2,6
ТМ-160/35	0,16	$\pm 2 \times 1,5\%$	35	0,4; 0,69	6,5	2,6; 3,1	0,7	2,4
ТМ-250/35	0,25	$\pm 2 \times 1,5\%$	35	0,4; 0,69	6,5	3,7; 4,2	1,0	2,3
ТМН(ТМ)-400/35	0,4	$\pm 6 \times 1,5\%$	35	0,4; 0,69	6,5	7,6; 8,5	1,9	2,0
ТМН(ТМ)-630/35	0,63	$\pm 6 \times 1,5\%$	35	0,4; 0,69; 6,3; 11	6,5	11,6; 12,2	2,7	1,5
ТМН(ТМ)-1000/35	1	$\pm 6 \times 1,5\%$	35	0,4; 0,69; 6,3; 11	6,5	16,5; 18	3,6	1,4
ТМН(ТМ)-1600/35	1,6	$\pm 6 \times 1,5\%$	35	6,3; 11	6,5	23,5; 26	5,1	1,1
ТМН(ТМ)-2500/35	2,5	$\pm 6 \times 1,5\%$	35	6,3; 11	6,5	23,5; 26	5,1	1,1
ТМН(ТМ)-4000/35	4,0	$\pm 6 \times 1,5\%$	35	6,3; 11	7,5	33,5	6,7	1,0
ТМН(ТМ)-6300/35	6,3	$\pm 6 \times 1,5\%$	35	6,3; 11	7,5	46,5	9,2	0,9
ТД-10000/35	10	$\pm 2 \times 2,5\%$	38,5	6,3; 10,5	7,5	65	14,5	0,8
ТМН-10000/35	10	$\pm 9 \times 1,3\%$	36,75	6,3; 10,5	7,5	65	14,5	0,8
ТДНС-10000/35	10	$\pm 8 \times 1,5\%$	36,75	6,3; 10,5	8,0	60	12,5	0,6
ТД-16000/35	16	$\pm 2 \times 2,5\%$	38,5	6,3; 10,5	8,0	90	21	0,6
ТДНС-16000/35	16	$\pm 8 \times 1,5\%$	36,75	6,3-6,3; 10,5-10,5	10	85	18	0,55
ТРДНС-25000/35	25	$\pm 8 \times 1,5\%$	36,75	6,3-6,3; 10,5-10,5	9,5	115	25	0,5
ТРДНС-32000/35	32	$\pm 8 \times 1,5\%$	36,75	6,3-6,3; 10,5-10,5	11,5	145	30	0,45
ТРДНС-40000/35	40	$\pm 8 \times 1,5\%$	36,75	6,3-6,3; 10,5-10,5	11,5	170	36	0,4
ТРДНС-63000/35	63	$\pm 8 \times 1,5\%$	36,75	6,3-6,3; 10,5-10,5	11,5	250	50	0,3

Продолжение табл. 1.2

Тип	Расчетные данные		
	R_T , Ом	X_T , Ом	ΔQ_x , квар
ТМ-100/35	241	796	2,6
ТМ-160/35	127; 148	498	3,8
ТМ-250/35	72; 82	318	5,7
ТМН(ТМ)-400/35	23,5; 26,2	126	12,6
ТМН(ТМ)-630/35	14,9; 14,2	79,6	15
ТМН(ТМ)-1000/35	7,9; 8,6	49,8	22,4
ТМН(ТМ)-1600/35	11,2; 12,4	49,2	17,6
ТМН(ТМ)-2500/35	4,6; 5,1	31,9	27,5
ТМН(ТМ)-4000/35	2,6	23	40
ТМН(ТМ)-6300/35	1,4	14,6	56,7
ТД-10000/35	0,96	11,1	80
ТМН-10000/35	0,88	10,1	80
ТДНС-10000/35	0,81	10,8	60
ТД-16000/35	0,52	7,4	9,6
ТДНС-16000/35	0,45	8,4	88
ТРДНС-25000/35	0,25	5,1	125
ТРДНС-32000/35	0,19	4,8	144
ТРДНС-40000/35	0,14	3,9	160
ТРДНС-63000/35	0,1	2,5	220

Примечания: 1. Регулирование напряжения осуществляется на стороне ВН путем РПН или ПБВ.

2. Трансформаторы типа ТМ, указанные в скобках, имеют ПБВ $\pm 2 \times 2,5\%$ на стороне ВН.

Таблица 1.3 Трехфазные трехобмоточные трансформаторы 35 кВ

Тип	$S_{\text{ном}}$, МВ·А	Пределы регулиру- вания	Каталожные данные								
			$U_{\text{ном}}$ обмоток, кВ			$U_{\text{к}}$, %			$\Delta P_{\text{к}}$, кВт	$\Delta P_{\text{х}}$, кВт	$I_{\text{х}}$, %
			ВН	СН	НН	В-С	В-Н	С-Н			
ТМТН-6300/35	6,3	$\pm 8 \times 1,5\%$	35	10,5(11); 13,8	6,3(6,6)	7,5	7,5	16,5	55	12	0,85
ТМТН-10000/35	10	$\pm 8 \times 1,5\%$	36,75	10,5(11); 13,8(15,75)	6,3(6,6)	16,5/8	8/16,5	7,2/7,2	75	18	0,85
ТМТН-16000/35	16	$\pm 8 \times 1,5\%$	36,75	10,5(11); 13,8(15,75)	6,3(6,6)	17/8	8/17	7,5/7,5	115	0,65	0,65

Продолжение табл. 1.3

Тип	Расчетные данные						
	$R_{\text{т}}$, Ом			$X_{\text{т}}$, Ом			$\Delta Q_{\text{х}}$, квар
	ВН	СН	НН	ВН	СН	НН	
ТМТН-6300/35	0,94	0,94	0,94	0	17,8	17,8	53,5
ТМТН-10000/35	0,51	0,51	0,51	11,7/11,7	10,6/0	0/10,6	85
ТМТН-16000/35	0,3	0,3	0,3	7,5/7,5	7/0	0/7	104

8

Таблица 1.4 Трехфазные двухобмоточные трансформаторы 110 кВ

Тип	$S_{\text{ном}}$, МВ·А	Пределы ре- гулирования	Каталожные данные					
			$U_{\text{ном}}$ обмоток, кВ		$U_{\text{к}}$, %	$\Delta P_{\text{к}}$, кВт	$\Delta P_{\text{х}}$, кВт	$I_{\text{х}}$, %
			ВН	НН				
ТМН-2500/110	2,5	+10×1,5% -8×1,5%	110	6,6; 11	10,5	22	5,5	1,5
ТМН-6300/110	6,3	±9×1,78%	115	6,6; 11	10,5	44	11,5	0,8
ТДН-10000/110	10	±9×1,78%	115	6,6; 11	10,5	60	14	0,7
ТДН-16000/110	16	±9×1,78%	115	6,5; 11	10,5	85	19	0,7
ТДНЖ-25000/110	25	±9×1,78%	115	27,5	10,5	120	30	0,7
ТРДН-25000/110 (ТРДНФ)-25000/110	25	±9×1,78%	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	120	27	0,7
ТД-40000/110	40	±2×2,5%	121	3,15; 6,3; 10,5	10,5	160	50	0,65
ТРДН-40000/110	40	±9×1,78%	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	172	36	0,65
ТРДНС-40000/110	40	±9×1,78%	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	175	42	0,7
ТРДЦН-63000/110	63	±9×1,78%	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	260	59	0,6
ТРДЦНК-63000/110	63	±9×1,78%	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	245	59	0,6
ТДЦ-80000/110	80	±2×2,5%	121	6,3; 10,5; 13,8	10,5	310	70	0,6
ТРДЦН-80000/110 (ТРДЦНК)	80	±9×1,78%	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	310	70	0,6
ТДЦ-125000/110	125	±2×2,5%	121	10,5; 13,8	10,5	400	120	0,55
ТРДЦН-125000/110	125	±9×1,78%	115	10,5/10,5	10,5	400	100	0,55
ТДЦ-200000/110	200	±2×2,5%	121	13,8; 15,75; 18	10,5	550	170	0,5
ТДЦ-250000/110	250	±2×2,5%	121	15,75	10,5	640	200	0,5
ТДЦ-400000/110	400	±2×2,5%	121	20	10,5	900	320	0,45

Продолжение табл. 1.4

Тип	Расчетные данные		
	R_T , Ом	X_T , Ом	ΔQ_x , квар
ТМН-2500/110	42,6	508,2	37,5
ТМН-6300/110	14,7	220,4	50,4
ТДН-10000/110	7,95	139	70
ТДН-16000/110	4,38	86,7	112
ТДНЖ-25000/110	2,5	55,5	175
ТРДН-25000/110 (ТРДНФ)-25000/110	2,54	55,9	175
ТД-40000/110	1,46	38,4	260
ТРДН-40000/110	1,4	34,7	260
ТРДНС-40000/110	1,44	52,8	280
ТРДЦН-63000/110	0,87	22	410
ТРДЦНК-63000/110	0,8	22	378
ТДЦ-80000/110	0,71	19,2	480
ТРДЦН-80000/110 (ТРДЦНК)	0,6	17,4	480
ТДЦ-125000/110	0,37	2,3	687,5
ТРДЦН-125000/110	0,4	11,1	687,5
ТДЦ-200000/110	0,2	7,7	1000
ТДЦ-250000/110	0,15	6,1	1250
ТДЦ-400000/110	0,08	3,8	1800

- Примечание: 1. Регулирование напряжения осуществляется за счет РПН в нейтрали, за исключением трансформаторов типа ТМН-2500/110 с РПН на стороне НН и ТД с ПБЗ на стороне ВН.
2. Трансформаторы типа ТРДН могут изготавливаться также с нерасщепленной обмоткой НН 38,5 кВ, трансформатор 25 МВ*А – с 27,5 кВ (для электрификации железных дорог).

Таблица 1.5 Трехфазные трехобмоточные трансформаторы 110 кВ

Тип	$S_{\text{ном}}$, МВ·А	Каталожные данные								
		$U_{\text{ном}}$ обмоток, кВ			$U_{\text{к}}$, %			$\Delta P_{\text{к}}$, кВт	$\Delta P_{\text{х}}$, кВт	$I_{\text{х}}$, %
		ВН	СН	НН	В-С	В-Н	С-Н			
ТМТН-6300/110	6,3	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6	58	14	1,2
ТДТН-10000/110	10	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6	76	17	1,1
ТДТН-16000/110*	16	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6	100	23	1
ТДТН-25000/110	25	115	11; 38,5	6,6; 11	10,5	17,5	6,5	140	31	0,7
ТДТНЖ-25000/110	25	115	38,5; 27,5	6,6; 11; 27,5	10,5(17)	17(10,5)	6	140	42	0,9
ТДТН-40000/110*	40	115	11; 22; 38,5	6,6; 11	10,5(17)	17(10,5)	6	200	43	0,6
ТДТНЖ-40000/110	40	115	27,5; 35,5	6,6; 11; 27,5	10,5(17)	17(10,5)	6	200	63	0,8
ТДТН-63000/110* (ТДЦТН)	63	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6,5	290	56	0,7
ТДТН-80000/110* (ТДЦТН, ТДЦТНК)	80	115	38,5	6,6; 11	11(17)	18,5(10,5)	7(6,5)	390	82	0,6

Продолжение табл. 1.5

Тип	Расчетные данные						
	$R_T, \text{ Ом}$			$X_T, \text{ Ом}$			$\Delta Q_x, \text{ квар}$
	ВН	СН	НН	ВН	СН	НН	
ТМТН-6300/110	9,7	9,7	9,7	225,7	0	131,2	75,6
ТДТН-10000/110	5	5	5	142,2	0	82,7	110
ТДТН-16000/110*	2,6	2,6	2,6	88,9	0	52	160
ТДТН-25000/110	1,5	1,5	1,5	56,9	0	35,7	175
ТДТНЖ-25000/110	1,5	1,5	1,5	57	0 (33)	33 (0)	225
ТДТН-40000/110*	0,8	0,8	0,8	35,5	0 (22,3)	22,3 (0)	240
ТДТНЖ-40000/110	0,9	0,9	0,9	35,5	0 (20,7)	20,7 (0)	320
ТДТН-63000/110* (ТДЦТН)	0,5	0,5	0,5	22,0	0	13,6	441
ТДТН-80000/110* (ТДЦТН, ТДЦТНК)	0,4	0,4	0,4	18,6 (21,7)	0 (10,7)	11,9 (0)	480

- при X_T , обмотки СН, равно 0, обмотки НН изготавливаются с $U_{\text{ном}}$, равным 6,3 или 10,5 кВ.

Примечание. Все трансформаторы имеют РПН $\pm 9 \times 1,78 \%$ в нейтрали ВН, за исключением трансформатора ТНДТЖ-40000 с РПН $\pm 8 \times 1,5 \%$ на ВН.

Таблица 1.6 Трехфазные двухобмоточные трансформаторы 220 кВ

Тип	$S_{\text{ном}}$, МВ·А	Пределы регулиру- вания	Каталожные данные						Расчетные данные		
			$U_{\text{ном}}$ обмоток, кВ		$U_{\text{к}}$, %	$\Delta P_{\text{к}}$, кВт	$\Delta P_{\text{х}}$, кВт	$I_{\text{х}}$, %	$R_{\text{т}}$, Ом	$X_{\text{т}}$, Ом	$\Delta Q_{\text{х}}$, квар
			ВН	НН							
ТРДН-32000/220	32	$\pm 8 \times 1,5\%$	230	6,6/6,6; 11/11; 6,6/11	12	167	53	0,9	8,66	198,5	288
ТРДН-40000/220	40	$\pm 8 \times 1,5\%$	230	6,6/6,6; 11/11	12	170	50	0,9	5,63	158,7	360
ТРДЦН-63000/220	63	$\pm 8 \times 1,5\%$	230	6,6/6,6; 11/11	12	300	82	0,8	3,9	100,7	504
ТДЦ-80000/220	80	$\pm 2 \times 2,5\%$	242	6,3; 10,5; 13,8	11	320	105	0,6	2,9	80,5	480
ТРДЦН-100000/220	100	$\pm 8 \times 1,5\%$	230	11/11; 38,5	12	360	115	0,7	1,9	63,5	700
ТДЦ-125000/220	125	$\pm 2 \times 2,5\%$	242	10,5; 13,8	11	380	135	0,5	1,4	51,5	625
ТРДЦН-160000/220	160	$\pm 8 \times 1,5\%$	230	11/11; 38,5	12	525	167	0,6	1,08	39,7	960
ТДЦ-200000/220	200	$\pm 2 \times 2,5\%$	242	13,8; 15,75; 18	11	580	200	0,45	0,77	32,2	900
ТДЦ-250000/220	250	-	242	13,8; 15,75	11	650	240	0,45	0,6	25,7	1125
ТДЦ-400000/220	400	-	242	13,8; 15,75; 20	11	880	330	0,4	0,29	16,1	1600
ТНЦ-630000/220	630	-	242	15,75; 20	11	1300	380	0,35	0,17	9,22	2200
ТЦ-630000/220	630	-	242	15,75; 20	12,5	1300	380	0,35	0,2	11,6	2205
ТЦ-1000000/220	1000	-	242	24	11,5	2200	480	0,35	0,2	6,7	3500

Примечания: 1. Регулирование напряжения осуществляется в нейтрали ВН.

2. Трансформаторы с расщепленной обмоткой могут изготавливаться также с нерасщепленной обмоткой НН на 38,5 кВ.

Таблица 1.7 Трехфазные трехобмоточные трансформаторы и автотрансформаторы 220 кВ

Тип	$S_{\text{ном}}$, МВ·А	Пределы регулиру- рования	Каталожные данные									
			$U_{\text{ном}}$ обмоток, кВ			$U_{\text{к}}$, %			$\Delta P_{\text{к}}$, кВт			$\Delta P_{\text{х}}$, кВт
			ВН	СН	НН	ВН-СН	ВН-НН	СН-НН	ВН-СН	ВН-НН	СН-НН	
ТДТН- 25000/220	25	$\pm 12 \times 1\%$	230	38,5	6,6; 11	12,5	20	6,5	135	-	-	50
ТДТНЖ- 25000/220	25	$\pm 8 \times 1,5\%$	230	27,5; 38,5	6,6; 11; 27,5	12,5	20	6,5	135	-	-	50
ТДТН- 40000/220	40	$\pm 12 \times 1\%$	230	38,5	6,6; 11	12,5	22	9,5	220	-	-	55
ТДТНЖ- 40000/220	40	$\pm 8 \times 1,5\%$	230	27,5; 38,5	6,6; 11; 27,5	12,5	22	9,5	240	-	-	66
АТДЦТН- 63000/220/110	63	$\pm 6 \times 2\%$	230	121	6,6; 11; 27,5; 38,5	11	35,7	21,9	215	-	-	45
АТДЦТН- 125000/220/110 (в знаменателе – выпуск после 1985г.)	125	$\pm 6 \times 2\%$	230	121	6,6; 11; 38,5	11/11	31/45	19/28	290/305	-	-	85/65
АТДЦТН- 200000/220/110	200	$\pm 6 \times 2\%$	230	121	6,6; 11; 15,75; 38,5	11	32	20	430	-	-	125
АТДЦТН- 250000/220/110	250	$\pm 6 \times 2\%$	230	121	10,5; 38,5	11,5	33,4	20,8	520	-	-	145

Продолжение табл. 1.7

Тип	Расчетные данные							ΔQ_x , квар
	I_x , %	R_T , Ом			X_T , Ом			
		ВН	СН	НН	ВН	СН	НН	
ТДТН-25000/220	1,2	5,7	5,7	5,7	275	0	148	300
ТДТНЖ-25000/220	1,2	5,7	5,7	5,7	275	0	148	300
ТДТН-40000/220	1,1	3,6	3,6	3,6	165	0	125	440
ТДТНЖ-40000/220	1,1	3,9	3,9	3,9	165	0	125	440
АТДЦТН-63000/220/110	0,5	1,4	1,4	2,8	104	0	195,6	315
АТДЦТН-125000/220/110 (в знаменателе – выпуск после 1985г.)	0,5	0,5/0,55	0,5/0,48	1,03,2	48,6/59,2	0	82,5/131	625
АТДЦТН-200000/220/110	0,5	0,3	0,3	0,6	30,4	0	54,2	1000
АТДЦТН-250000/220/110	0,5	0,2	0,2	0,4	25,5	0	45,1	1250

2 ВОЗДУШНЫЕ И КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

2.1 Воздушные линии

Провода классифицируют по материалу, из которого они изготовлены, сечению, виду изоляции или ее отсутствию, механической прочности и др. Неизолированные провода из меди, алюминия и сталеалюминевые предназначены для воздушных линий электропередачи. Обозначения марок проводов приведены на рис. 2.1.

Наиболее широко применяются сталеалюминевые провода. Проводимость стального сердечника не учитывается, а за электрическое сопротивление принимается только сопротивление алюминиевой части. Выпускаются сталеалюминевые провода марок АС, АСКС, АСКП, АСК. Провод марки АС состоит из стального сердечника и алюминиевых проволок. Коррозионностойкие провода АСКС, АСКП – это провода марки АС, но межпроволочное пространство стального сердечника (С) или всего провода (П) заполнено нейтральной смазкой повышенной термостойкости; АСК – провод марки АСКС, но стальной сердечник изолирован двумя лентами полиэтиленовой пленки.

В обозначение марки провода вводится номинальное сечение алюминиевой части провода и сечение стального сердечника, например АС-120/19 или АСКС-150/34.

Расчетные данные сталеалюминевых проводов, алюминиевых проводов приведены в табл. 2.1 и 2.2.

Расчетные данные ВЛ напряжением 380 В, 6 кВ, 10 кВ, 35 кВ и выше для наиболее часто применяемых марок проводов приведены в табл. 2.3-2.7.

Значения допустимого по нагреву тока для неизолированных сталеалюминевых и алюминиевых проводов даны в табл. 2.8. Приведенные значения токов соответствуют допустимой температуре нагрева провода $+70^{\circ}\text{C}$ при температуре воздуха $+25^{\circ}\text{C}$.

М	С	АЖ	К
А			КП
Ап		АН	КС

ПРОВОЛОКА:

медная —
 алюминиевая марки АТ —
 то же марки АТп —

Стальной сердечник —

Алюминиевый сплав марки АВЕ
 термообработанный —
 то же нетермообработанный —

Стальной сердечник изолированный
 пленкой —
 межпроводочное пространство
 провода заполнено смазкой —
 межпроводочное пространство
 сердечника заполнено смазкой —

Рис. 2.1 Обозначение марок проводов ВЛ

Таблица 2.1 Расчетные данные сталеалюминевых проводов марок АС, АСКС, АСКП, АСК

Номинальное сечение, мм ² (алюминий/сталь)	Сечение, мм ²		Диаметр, мм		Электрическое сопротивление постоянному току при 20°С, Ом/км, не более
	алюминия	стали	провода	стального сердечника	
10/1,8	10,6	1,77	4,5	1,5	2,766
16/2,7	16,1	2,69	5,6	1,9	1,809
25/4,2	24,9	6,15	6,9	2,9	1,176
35/6,2	36,9	6,15	8,4	2,8	0,790
50/8,0	48,2	8,04	9,6	3,2	0,603
70/11	68,0	11,3	11,4	3,8	0,429
70/72	68,4	72,2	15,4	11,0	0,428
95/16	95,4	15,9	13,5	4,5	0,306
95/141	91,2	141,0	19,8	15,4	0,321
120/19	118,0	18,8	15,2	5,6	0,249
120/27	114,0	26,6	15,4	6,6	0,253
150/19	148,0	18,8	16,8	5,6	0,199
150/24	149,0	24,2	17,1	6,3	0,198
185/24	187,0	24,2	18,9	6,3	0,157
185/29	181,0	29,0	18,8	6,9	0,162
185/43	185,0	43,1	19,6	8,4	0,158
185/128	187,0	128,0	23,1	14,7	0,158
240/32	244,0	31,7	21,6	7,2	0,121
240/39	236,0	38,6	21,6	8,0	0,124
240/56	241,0	56,3	22,4	9,6	0,122
300/39	301,0	38,6	24,0	8,0	0,098
300/48	295,0	47,8	24,1	8,9	0,099
300/66	288,5	65,8	24,5	10,5	0,102
300/67	288,5	67,3	24,5	10,5	0,103
300/204	298,0	204,0	29,2	18,6	0,099
330/30	335,0	29,1	24,8	6,9	0,088
330/43	332,0	43,1	25,2	8,4	0,089
400/22	394,0	22,0	26,6	6,0	0,075
400/51	394,0	51,1	27,5	9,2	0,075
400/64	390,0	63,5	27,7	10,2	0,075
400/93	406,0	93,2	29,1	12,5	0,072
450/56	434,0	56,3	28,8	9,6	0,068
500/27	481,0	26,6	29,4	6,6	0,061
500/64	490,0	63,5	30,6	10,2	0,060
500/204	496,0	204,0	34,5	18,6	0,060
500/336	490,0	336,0	37,5	23,9	0,060
500/71	549,0	71,2	32,4	10,8	0,054
600/72	580,0	72,2	33,2	11,0	0,051
650/79	634,0	78,9	34,7	11,5	0,046
700/86	687,0	85,9	36,2	12,0	0,043
750/93	748,0	93,2	37,7	12,5	0,039
800/105	821,0	105,0	39,7	13,3	0,036
1000/56	1003,2	56,3	42,4	9,6	0,029

Таблица 2.2 Расчетные данные алюминиевых проводов марок А, АКП

Номинальное сечение, мм ²	Сечение, мм ²	Диаметр, мм	Электрическое сопротивление постоянному току при 20°С, Ом/км, не более
35	34,5	7,5	0,850
50	49,5	9,0	0,588
70	69,3	10,7	0,420
95	92,4	12,3	0,315
120	117,0	14,0	0,251
150	148,0	15,8	0,198
185	182,8	17,5	0,161
240	138,7	20,0	0,123
300	188,3	22,1	0,102
350	345,8	24,2	0,085
400	389,2	25,6	0,076
450	449,1	27,3	0,067
500	500,4	29,1	0,059
550	544,0	30,3	0,054
600	586,8	31,5	0,050
650	641,7	32,9	0,046
700	691,7	34,2	0,042
750	747,4	35,6	0,039
800	805,2	36,9	0,036

Таблица 2.3 Расчетные характеристики воздушных линий напряжением 380 В, 6, 10 кВ со сталеалюминевыми проводами

Номинальное сечение проводов мм ² (алюминий/сталь)	Удельное активное сопротивление при +20°С r_0 , Ом/км	Удельное индуктивное сопротивление X_0 , Ом/км при напряжении, кВ		
		0,38	6	10
16/2,7	1,782	-	-	-
25/4,2	1,152	0,319	0,392	0,401
35/6,2	0,777	0,308	0,376	0,386
50/8	0,595	0,297	0,368	0,378
70/11	0,422	0,283	0,357	0,367
95/16	0,301	0,274	0,347	0,356
120/9	0,244	-	0,338	0,349

Таблица 2.4 Расчетные характеристики воздушных линий 35-150 кВ со сталеалюминевыми проводами

Номинальное сечение провода, мм ²	Активное сопротивление при +20°C на 100 км линии, Ом	Индуктивное сопротивление $X_{уд}$, емкостная проводимость $b_{уд}$ и зарядная мощность $q_{уд}$ на 100 км линии напряжением, кВ						
		35		110		150		
		$X_{уд}$, Ом	$X_{уд}$, Ом	$b_{уд} \cdot 10^{-4}$, Ом	$q_{уд}$, Мвар	$X_{уд}$, Ом	$b_{уд} \cdot 10^{-4}$, Ом	$q_{уд}$, Мвар
70/11	42,8	43,2	44,4	2,55	3,4	46	2,46	5,5
95/16	30,6	42,1	43,4	2,61	3,5	45	2,52	5,7
120/19	24,9	41,4	42,7	2,66	3,55	44,1	2,56	5,8
150/24	19,8	40,6	42	2,7	3,6	43,4	2,61	5,9
185/29	16,2	-	41,3	2,75	3,7	42,9	2,64	5,95
240/32	12	-	40,5	2,81	3,75	42	2,7	6,1

Таблица 2.5 Расчетные характеристики воздушных линий 220-1150 кВ со сталеалюминевыми проводами

Номинальное сечение провода, мм ²	Количество проводов в фазе	Активное сопротивление при 20°C на 100 км линии, Ом	$X_{уд}$, $b_{уд}$ и $q_{уд}$ на 100 км линии напряжением, кВ								
			220			330			500		
			$X_{уд}$, Ом	$b_{уд} \cdot 10^{-4}$, Ом	$q_{уд}$, Мвар	$X_{уд}$, Ом	$b_{уд} \cdot 10^{-4}$, Ом	$q_{уд}$, Мвар	$X_{уд}$, Ом	$b_{уд} \cdot 10^{-4}$, Ом	$q_{уд}$, Мвар
240/32	1	12,1	43,5	2,6	13,9	-	-	-	-	-	-
	2	6	-	-	-	33,1	3,38	40,6	-	-	-
240/39	11	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
240/56	5	2,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
300/39	1	9,8	42,9	2,64	14,1	-	-	-	-	-	-
	2	4,8	-	-	-	32,8	-	-	-	-	-
300/48	8	1,25	-	-	-	-	3,41	40,9	-	-	-
300/66	3	3,4	-	-	-	-	-	-	31	3,97	9,2
	5	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
330/43	3	2,9	-	-	-	-	-	-	30,8	3,6	90
	8	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
400/51	1	7,5	42	2,7	14,4	-	-	-	-	-	-
	2	3,75	-	-	-	32,3	3,46	41,5	-	-	-
	3	2,5	-	-	-	-	-	-	30,6	3,62	90,5
	5	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
400/93	4	1,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500/64	1	6	41,3	2,74	14,6	-	-	-	-	-	-
	2	3	-	-	-	32	3,5	42	-	-	-
	3	2	-	-	-	-	-	-	30,4	3,64	91
	4	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение табл. 2.5

Номинальное сечение провода, мм ²	Количество проводов в фазе	Активное сопротивление при 20°C на 100 км линии, Ом	$X_{уд}$, $b_{уд}$ и $q_{уд}$ на 100 км линии напряжением, кВ								
			750			1150					
			$X_{уд}$, Ом	$b_{уд} \cdot 10^{-4}$, Ом	$q_{уд}$, Мвар	$D_{ср} = 15$ м			$D_{ср} = 24,2$ м		
						$X_{уд}$, Ом	$b_{уд} \cdot 10^{-4}$, Ом	$q_{уд}$, Мвар	$X_{уд}$, Ом	$b_{уд} \cdot 10^{-4}$, Ом	$q_{уд}$, Мвар
240/32	1	12,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
240/39	11	1,1	-	-	-	19,3	5,95	786,9	-	-	-
240/56	5	2,4	30,8	3,76	211,5	-	-	-	-	-	-
300/39	1	9,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	4,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
300/48	8	1,25	-	-	-	-	-	-	26,6	4,43	585,9
300/66	3	3,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	2,1	28,8	4,11	231,2	-	-	-	-	-	-
330/43	3	2,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	8	1,1	-	-	-	-	-	-	27	4,38	579,3
400/51	1	7,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	3,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	1,5	28,6	4,13	232,3	-	-	-	-	-	-
400/93	4	1,9	28,9	4,13	2323,3	-	-	-	-	-	-
500/64	1	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	1,5	30,3	3,9	219,4	-	-	-	-	-	-

Таблица 2.6

Среднегеометрическое расстояние между проводниками, м	Индуктивное сопротивление, Ом/км									
	АС35	АС50	АС70	АС95	АС120	АС150	АС185	АС240	АС300	АС400
2	0,403	0,392	0,382	0,371	0,365	0,358	-	-	-	-
2,5	0,417	0,406	0,396	0,385	0,379	0,372	-	-	-	-
3	0,429	0,418	0,408	0,397	0,391	0,384	0,377	0,369	-	-
3,5	0,438	0,427	0,417	0,406	0,4	0,398	0,386	0,378	-	-
4	0,446	0,435	0,425	0,414	0,408	0,401	0,394	0,386	-	-
4,5	-	-	0,433	0,422	0,416	0,409	0,402	0,394	-	-
5	-	-	0,44	0,429	0,423	0,416	0,409	0,401	-	-
5,5	-	-	-	-	0,43	0,422	0,415	0,407	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	0,413	0,404	0,396
6,5	-	-	-	-	-	-	-	-	0,409	0,4
7	-	-	-	-	-	-	-	-	0,414	0,406
7,5	-	-	-	-	-	-	-	-	0,418	0,409
8	-	-	-	-	-	-	-	-	0,422	0,414
8,5	-	-	-	-	-	-	-	-	0,425	0,418

Таблица 2.7 Емкостная проводимость воздушных линий со сталеалюминевыми проводами

Среднегеометрическое расстояние между проводами, м	Емкостная проводимость, См/км·10 ⁻⁶							
	АС70	АС95	АС120	АС150	АС185	АС240	АС300	АС400
3	2,79	2,87	2,92	2,97	3,03	3,1	-	-
3,5	2,73	2,81	2,85	2,9	2,96	3,02	-	-
4	2,68	2,75	2,79	2,85	2,9	2,96	-	-
4,5	2,62	2,69	2,74	2,79	2,84	2,89	-	-
5	2,58	2,65	2,69	2,74	2,82	2,85	-	-
5,5	-	-	2,67	2,70	2,74	2,8	-	-
6	-	-	-	-	-	2,76	2,81	2,83
6,5	-	-	-	-	-	-	2,78	2,84
7	-	-	-	-	-	-	2,74	2,78
7,5	-	-	-	-	-	-	2,71	2,76
8	-	-	-	-	-	-	2,69	2,73
8,5	-	-	-	-	-	-	2,67	2,70

Таблица 2.8 Допустимый длительный ток для неизолированных проводов

Номинальное сечение, мм ²	Сечение (алюминий/сталь), мм ²	Ток, А, для проводов марок					
		АС, АСКС, АСК, АСКП		М	А и АКП	М	А и АКП
		вне помещений	внутри помещений	вне помещений		внутри помещений	
10	10/1,8	84	53	95	-	60	-
16	16/2,7	111	79	133	105	102	75
25	25/4,2	142	109	183	136	137	106
35	35/6,2	175	135	223	170	173	130
50	50/8	210	165	275	215	219	165
70	7/11	265	210	337	265	268	210
95	95/16	330	260	422	320	341	255
120	120/19	390	313	485	375	395	300
	120/27	375	-				
150	150/19	450	365	570	440	465	355
	150/24	450	365				
	150/34	450	-				
185	185/24	520	430	650	500	540	410
	185/29	510	425				
	185/43	515	-				
240	240/32	605	505	760	590	685	490
	240/39	610	505				
	240/56	610	-				
300	300/39	710	600	880	680	740	570
	300/48	690	585				
	300/66	680	-				

Номинальное сечение, мм ²	Сечение (алюминий/сталь), мм ²	Ток, А, для проводов марок					
		АС, АСКС, АСК, АСКП		М	А и АКП	М	А и АКП
		вне помещений	внутри помещений	вне помещений		внутри помещений	
330	330/27	730	-	-	-	-	-
400	400/22	830	713	1050	815	895	690
	400/51	825	705				
	400/64	860	-				
500	500/27	960	830	-	980	-	820
	500/64	945	815				
600	600/72	1050	920	-	1100	-	955
700	700/86	1180	1040	-	-	-	-

Примечание. Длительные токовые нагрузки одинаковы для проводов марок АС, АСКС, АСК и АСКП.

2.2 Кабельные линии

Силовые кабели состоят из одной, трех или четырех одно- или многопроволочных медных или алюминиевых жил, изолированных друг от друга и окружающей среды, герметизированных свинцовыми, алюминиевыми или пластмассовыми оболочками и защищенных, как правило, броней из стальных лент или оцинкованной проволоки.

Изоляции кабелей изготавливаются из бумажных лент, пропитанных маслоканифольным составом, резины и пластмассы.

Основные буквенные обозначения типов кабелей приведены на рис. 2.2 и в табл. 2.9.

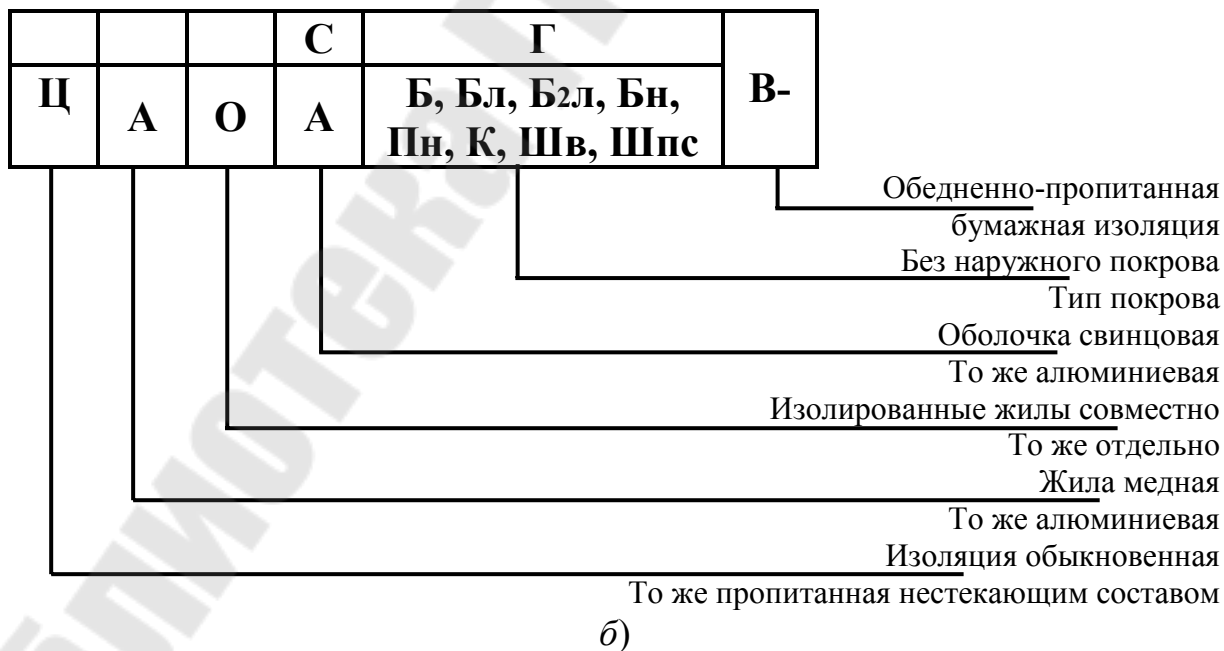
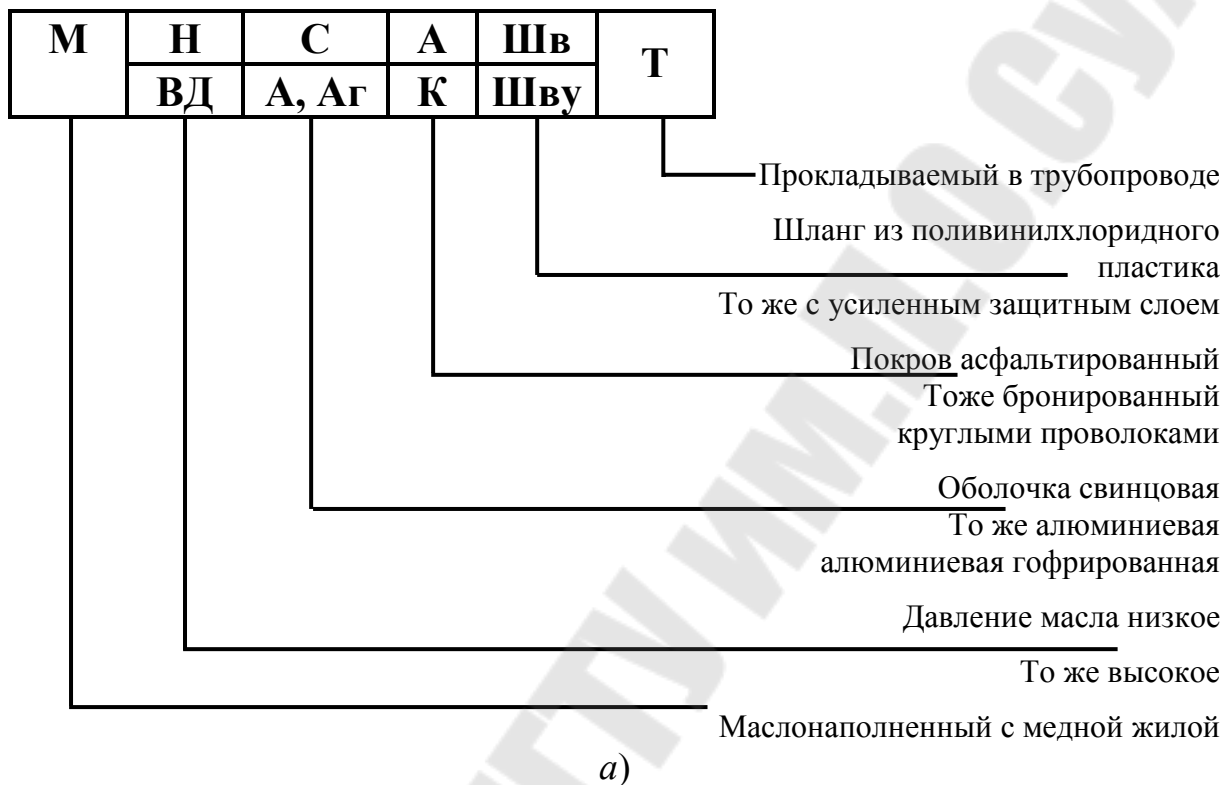
В табл. 2.10 и 2.11 приведены сведения о трехжильных и четырехжильных силовых кабелей на напряжение до 1 кВ. Расчетные данные кабелей приведены в табл. 2.12 и 2.13.

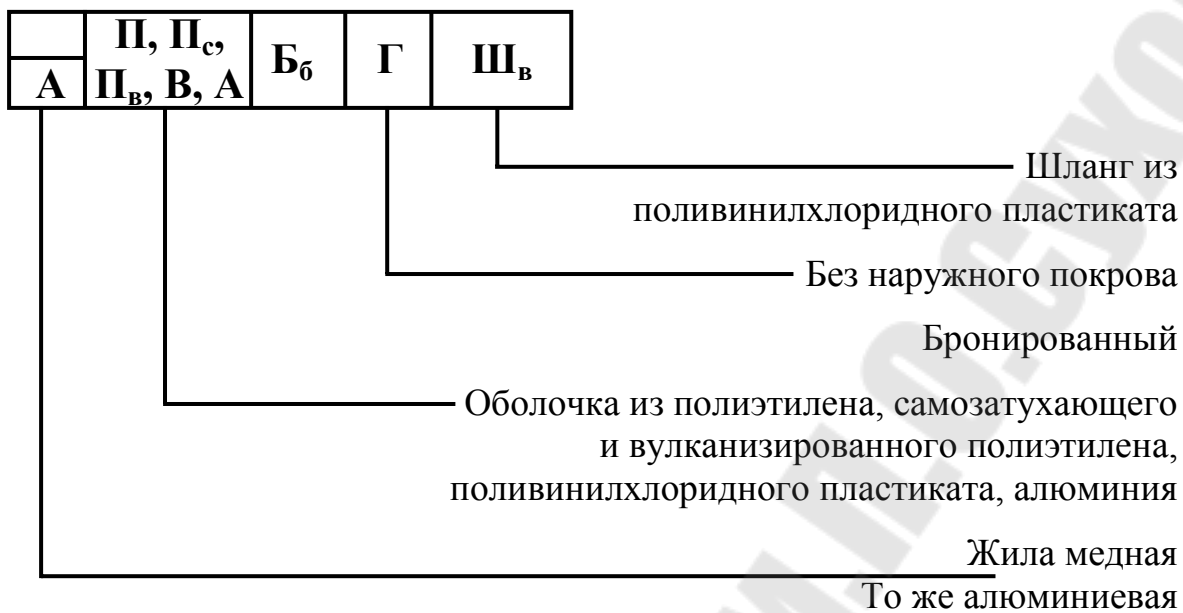
Допустимые длительные токовые нагрузки для разных марок кабелей напряжением до 35 кВ при различных условиях прокладки приведены в табл. 2.14 – 2.20.

Данные в таблицах определены, исходя из температуры окружающей среды при прокладке кабеля в земле +15 °С и при прокладке в воздухе (туннеле) +25 °С. При другой температуре окружающей среды данные умножают на коэффициенты, приведенные в табл. 2.21.

На период ликвидации аварий для кабельных линий до 10 кВ допускаются перегрузки в течение 5 суток. Значения коэффициента перегрузки в послеаварийном режиме в зависимости от условий прокладки кабеля, предварительной нагрузке в нормальном режиме и длительности наибольшей нагрузки приведены в табл. 2.22.

Прокладка рядом нескольких кабелей в земляной траншее ухудшает условия теплоотдачи в грунт из-за теплового влияния кабелей друг на друга. В этих случаях допустимые по нагреву нагрузки, указанные в табл. 2.14 – 2.20, уменьшаются введением поправочного коэффициента на число кабелей. Значения коэффициента приведены в табл. 2.23.





в)

Рис. 2.2 Обозначение типов кабелей: а) – маслонаполненных; б) – с бумажной изоляцией и вязкой пропиткой; в) – с пластмассовой изоляцией

Таблица 2.9 Обозначение кабелей

Буква, сочетание букв	Значение букв или сочетания букв
А	Алюминиевая жила
АС	Алюминиевая жила и свинцовая оболочка
АА	Алюминиевая жила и алюминиевая оболочка
Б	Броня из двух стальных лент с антикоррозионным защитным покровом
Бн	То же, но с негорючим защитным покровом (не поддерживающим горение)
Г	Отсутствие защитных покров поверх брони или оболочки
л (2л)	В подушке под броней имеется слой (два слоя) из пластмассовых лент
в (н)	В подушке под броней имеется выпрессованный шланг из поливинилхлорида (полиэтилена)
Шв (Шн)	Защитный покров в виде выпрессованного шланга (оболочки) из поливинилхлорида (полиэтилена)
К	Броня из круглых оцинкованных стальных проволок, поверх которых наложен защитный покров
н	Не поддерживающий горение защитный покров
М	Маслонаполненный
П	Броня из оцинкованных плоских проволок, поверх которых наложен защитный покров
С	Свинцовая оболочка
О	Отдельные оболочки поверх каждой фазы
В – в конце обозначения через черточку	Обеднено-пропитанная бумажная изоляция
Ц	Бумажная изоляция, пропитанная нестекающим составом, содержащим церезин
НР	Резиновая изоляция и оболочка из резины, не поддерживающей горение
В	Изоляция или оболочка из поливинилхлорида
П	Изоляция или оболочка из термопластичного полиэтилена
Нс	Изоляция или оболочка из самозатухающего полиэтилена (не поддерживающего горение)
Бб	Броня из профилированной стальной ленты

Таблица 2.10 Стандартные сечения кабелей на напряжение 6, 10 кВ

Обозначение марок	Число жил	Номинальное напряжение кабелей, кВ	
		Номинальное сечение жил, мм ²	
		6	10
ААГ, ААШв, ААШп, ААБл, ААБ2лШв, ААБ2лШп, ААБлГ, ААБ2л, АСГ, СГ, АСШв, АСБ, СБ, АСБл, СБл, АСБн, СБн, АСБлн, Сблн, АСБГ, СБГ, АСБ2л, СБ2л, АСБ2лШв, СБ2лШв, АСБ2лГ, СБ2лГ	3	10-240	16-240
СШв, СБШв	3	10-240	16-240
ААПл, ААП2л, ААПлГ, ААП2лГ, ААП2лШв, АСП, СП, АСПл, СПл, АСП2л, СП2л, АСПлн, АСПГ, СПГ, АСКл, СКл, АСП2лГ, СП2лГ	3	16-240	16-240
СПШв	3	16-240	16-240
АОАБ, ОАБ, АОАБ2л, ОАБ2л, АОАБ2лГ, ОАБ2лГ, АОСБ, ОСБ, АОСБл, ОСБл, АОСБн, ОСБи, АОСБГ, ОСБГ, АОАШвБ, ОАШвБ	3	-	-
АОСК, ОСК	3	-	-
ААШв-В, ААП2лШв-В, ААБл-В, ААБ2л-В, СБ-В, АСБл-В, СБл-В, АСБн-В, СБн-В, ААГ-В, АСБлн-В, СБлн-В, АСБГ-В, СБГ-В, АСБ2л-В, СБ2л-В, ААШп-В	3	16-120	-
ААБв, ААБвГ	3	10-240	16-240
ААШв-В, ААБл-В, АСБГ-В, СБГ-В	3	-	-
ААПл-В, ВВПлГ-В, АСП-В, СП-В, АСПл-В, АСПлн-В, АСП2л-В, СП2л-В	3	16-120	-
АСПГ-В, СПГ-В, АСП2л-В, СП2лГ-В	3	-	-

Таблица 2.11 Стандартные сечения кабелей на напряжение до 1 кВ

Обозначение марок	Сечение жил, мм ²
ААГ, ААШп, ААШв, ААБлГ, ААП2лШв, ААБл, ААБ2л, АСГ, СГ, АСБ, СБ, АСБл, СБл, АСБн, АСБлн, СБлн, АСБГ, СБГ, АСБ2л, СБ2л, АСШв, СШв, СБШв	10-185
ААПл, ААП2л, ААПлГ, АСП, СП, АСПл, СПл, АСПлн, СПлн, АСПГ, СПГ, АСП2л, СПШв, АСКл	16-185
АСКл, СКл	25-185
ААШв-В, ААП2лШв-В, АСБ-В, СБ-В, АСБл-В, АСБн-В, СБн-В, АСБлн-В, АСБ2л-В, СБ2л-В	10-120
ААБлГ-В	16-120
АСБГ-В, СБГ-В	10-185
ААПл-В, ААПлГ-В, СП-В, АСП-В, АСПл-В, СПн-В, АСПлн-В, СПлн-В, АСПГ-В, СПГ-В, АСП2л-В	16-120

Таблица 2.12 Расчетные характеристики кабелей с бумажной изоляцией и вязкой пропиткой

Сечение жилы, мм ²	Активное сопротивление на 1 км длины при 20°C, Ом		Индуктивное сопротивление емкостная проводимость зарядная мощность q_0 1 км кабеля напряжением, кВ								
			6			10			35		
	медь	алюминий	X_0 , Ом/км	$b_0 \cdot 10^{-4}$, См/км	q_0 , квар/км	X_0 , Ом/км	$b_0 \cdot 10^{-4}$, См/км	q_0 , квар/км	X_0 , Ом/км	$b_0 \cdot 10^{-4}$, См/км	q_0 , квар/км
10	1,84	3,1	0,11	62,8	2,3	-	-	-	-	-	-
16	1,15	1,94	0,102	72,2	2,6	0,113	-	5,9	-	-	-
25	0,74	1,24	0,091	88	4,1	0,099	72,2	8,6	-	-	-
35	0,52	0,89	0,087	97,2	4,6	0,095	85	10,7	-	-	-
50	0,37	0,62	0,083	114	5,2	0,09	91	11,7	-	-	-
70	0,26	0,443	0,08	127	6,6	0,086	97,5	13,5	0,137	56,5	86
95	0,194	0,326	0,078	134	8,7	0,083	110	15,6	0,126	63	95
120	0,153	0,258	0,076	146	9,5	0,081	116	16,9	0,12	75,5	99
150	0,122	0,206	0,074	162	10,4	0,079	138	18,3	0,116	81,5	112
185	0,099	0,167	0,073	169	11,7	0,077	141	20	0,113	88	115
240	0,077	0,129	0,071	185	13	0,075	144	21,5	-	-	-
300	0,061	0,103	-	-	-	-	-	-	0,097	-	127
400	0,046	0,077	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 2.13 Расчетные характеристики маслонаполненных кабелей с пластмассовой изоляцией напряжением 110-500 кВ

Сечение жилы, мм ²	Активное сопротивление на 1 км длины при 20°C, Ом		Индуктивное сопротивление X_0 и зарядная мощность q_0 1 км кабеля напряжением, кВ							
			маслонаполненного				с пластмассовой изоляцией			
			110		220		110		220	
	X_0 , Ом/км	q_0 , квар/км	X_0 , Ом/км	q_0 , квар/км	X_0 , Ом/км	q_0 , квар/км	X_0 , Ом/км	q_0 , квар/км		
150	0,122	-	0,2	1180	0,16	3600	-	-	-	-
185	0,099	-	0,195	1210	0,155	3650	-	-	-	-
240	0,077	-	0,19	1250	0,152	3780	-	-	-	-
270	0,068	0,092	0,185	1270	0,147	3850	0,12	450	0,12	110
300	0,061	-	0,18	1300	0,145	3930	-	-	-	-
350	0,051	0,086	0,175	1330	0,14	4070	0,116	755	0,116	1900
400	0,046	-	0,17	1360	0,135	4200	-	-	-	-
425	0,042	-	0,165	1370	0,132	4260	-	-	-	-
500	0,037	0,06	0,16	1420	0,128	4450	0,11	830	0,11	2100
550	0,032	-	0,155	1450	0,124	4600	-	-	-	-
625	0,029	0,048	0,15	1500	0,12	4770	0,1	1040	0,1	2600
700	0,026	-	0,145	1550	0,116	4920	-	-	-	-
800	0,022	0,04	0,14	1600	0,112	5030	0,1	1250	0,1	3700

Таблица 2.14 Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в земле

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для кабелей					
	одножильных до 1 кВ	двухжильных до 1 кВ	трехжильных напряжением, кВ			четырёхжильных до 1 кВ
			до 3	6	10	
6	-	60	55	-	-	-
10	110	80	75	60	-	65
16	135	110	90	80	75	90
25	180	140	125	105	90	115
35	220	175	145	125	115	135
50	275	210	180	155	140	165
70	340	250	220	190	165	200
95	400	290	260	225	205	240
120	460	335	300	260	240	270
150	520	385	335	300	275	305
185	580	-	380	340	310	345
240	675	-	440	390	355	-
300	770	-	-	-	-	-
400	940	-	-	-	-	-
500	1080	-	-	-	-	-
625	1170	-	-	-	-	-
800	1310	-	-	-	-	-

Таблица 2.15 Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массами изоляцией в свинцовой оболочке, прокладываемых в воде

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для кабелей			
	трехжильных напряжением, кВ			четырёхжильных до 1 кВ
	до 3	6	10	
16	-	105	90	-
25	160	130	115	150
35	190	160	140	175
50	235	195	170	220
70	290	240	210	270
95	340	290	260	315
120	390	330	305	360
150	435	385	345	-
185	475	420	390	-
240	550	480	450	-

Таблица 2.16 Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в воздухе

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для кабелей					
	одножильных до 1 кВ	двухжильных до 1 кВ	трехжильных напряжением, кВ			четырёхжильных до 1 кВ
			до 3	6	10	
6	-	42	35	-	-	-
10	75	55	46	42	-	45
16	90	75	60	50	46	60
25	125	100	80	70	65	75
35	155	115	95	85	80	95
50	190	140	120	110	105	110
70	235	175	155	135	130	140
95	275	210	190	165	155	165
120	320	245	220	190	185	200
150	360	290	255	225	210	230
185	405	-	290	250	235	260
240	470	-	330	290	270	-
300	555	-	-	-	-	-
400	675	-	-	-	-	-
500	785	-	-	-	-	-
625	910	-	-	-	-	-
800	1080	-	-	-	-	-

Таблица 2.17 Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами резиновой или пластмассовой изоляцией, в свинцовой, полихлорвиниловой или резиновой оболочках при прокладке их в воздухе

Сечение жилы, мм ²	Ток, А, для кабелей		
	одножильных	двухжильных	трехжильных
2,5	23	21/34	19/29
4	31	29/42	27/38
6	38	38/55	32/46
10	60	55/80	42/70
16	75	70/105	60/90
25	105	90/135	75/115
35	130	105/160	90/140
50	165	135/205	110/175
70	210	165/245	140/210
95	250	200/295	170/225
120	295	230/340	200/295
150	340	270/390	235/335
185	395	310/440	270/385
240	465	-/-	-/-

Таблица 2.18 Допустимый длительный ток для кабелей с медными жилами с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массаи изоляцией в свинцовой оболочке, прокладываемых в земле

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для кабелей					
	одножильных до 1 кВ	двухжильных до 1 кВ	трехжильных напряжением, кВ			четырёхжильных до 1 кВ
			до 3	6	10	
6	-	80	70	-	-	-
10	140	105	95	80	-	85
16	175	140	120	105	95	115
25	235	185	160	135	120	150
35	285	225	190	160	150	175
50	360	270	235	200	180	215
70	440	325	285	245	215	265
95	520	380	340	295	265	310
120	595	435	390	340	310	350
150	675	500	435	390	155	395
185	755	-	490	440	400	450
240	880	-	570	510	460	-
300	1000	-	-	-	-	-
400	1220	-	-	-	-	-
500	1400	-	-	-	-	-
625	1520	-	-	-	-	-
800	1700	-	-	-	-	-

Таблица 2.19 Допустимый длительный ток для кабелей с медными жилами с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массаи изоляцией в свинцовой оболочке, прокладываемых в воде

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для кабелей			
	трехжильных напряжением, кВ			четырёхжильных до 1 кВ
	до 3	6	10	
16	-	135	120	-
25	210	170	150	195
35	250	205	180	230
50	305	255	220	285
70	375	310	275	350
95	440	375	340	410
120	505	430	395	470
150	565	500	450	-
185	615	545	510	-
240	715	625	585	-

Таблица 2.20 Допустимый длительный ток для кабелей с медными жилами с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массаи изоляцией в свинцовой оболочке, прокладываемых в воздухе

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для кабелей					
	одножильных до 1 кВ	двухжильных до 1 кВ	трехжильных напряжением, кВ			четырёхжильных до 1 кВ
			до 3	6	10	
6	-	55	45	-	-	-
10	95	75	60	55	-	60
16	120	95	80	65	60	80
25	160	130	105	90	85	100
35	200	150	125	110	105	120
50	245	185	155	145	135	145
70	305	225	200	175	165	185
95	360	275	245	215	200	215
120	415	320	285	250	240	260
150	470	375	330	290	270	300
185	525	-	375	325	305	340
240	610	-	430	375	350	-
300	720	-	-	-	-	-
400	880	-	-	-	-	-
500	1020	-	-	-	-	-
625	1180	-	-	-	-	-
800	1400	-	-	-	-	-

Таблица 2.21 Поправочные коэффициенты на температуру окружающей среды

Условная температура среды, °С	Нормированная температура жил, °С	Поправочные коэффициенты на токи при расчетной температуре среды, °С											
		-5 и ниже	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
15	80	1,14	1,11	1,08	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73	0,68
25	80	1,24	1,20	1,17	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74
25	70	1,29	1,24	1,20	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67
15	65	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55
25	65	1,32	1,27	1,22	1,17	1,12	1,06	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
15	60	1,20	1,15	1,12	1,06	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67	0,57	0,47
25	60	1,36	1,31	1,25	1,20	1,13	1,07	1,00	0,93	0,85	0,76	0,66	0,54
15	55	1,22	1,17	1,12	1,07	1,00	0,93	0,86	0,79	0,71	0,61	0,50	0,36
25	55	1,41	1,35	1,29	1,23	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
15	50	1,25	1,20	1,14	1,07	1,00	0,93	0,84	0,76	0,66	0,54	0,37	-
25	50	1,48	1,41	1,34	1,26	1,18	1,09	1,00	0,89	0,78	0,63	0,45	-

Таблица 2.22 Допустимая на период ликвидации послеаварийного режима перегрузка для кабелей напряжением до 10 кВ с бумажной изоляцией

Коэффициент предварительной нагрузки	Вид прокладки	Допустимая перегрузка по отношению к номинальной при длительности максимума, ч		
		1	3	6
0,6	В земле	1,5	1,35	1,25
	В воздухе	1,35	1,25	1,25
	В трубах (в земле)	1,30	1,20	1,15
0,8	В земле	1,35	1,25	1,20
	В воздухе	1,30	1,25	1,25
	В трубах (в земле)	1,20	1,15	1,10

Таблица 2.23 Поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле (в трубах или без труб)

Расстояние между кабелями в свету, мм	Коэффициент при количестве кабелей					
	1	2	3	4	5	6
100	1,00	0,90	0,85	0,80	0,78	0,75
200	1,00	0,92	0,87	0,84	0,83	0,81
300	1,00	0,93	0,90	0,87	0,86	0,85

Таблица 2.24 Экономическая плотность тока

Проводники	Экономическая плотность тока, А/мм ² , при числе часов использования максимума нагрузки в год			
	более 1000 до 3000	более 3000 до 5000	более 5000	
Неизолированные провода и шины:				
	медные	2,5	2,1	1,8
	алюминиевые	1,3	1,1	1,0
Кабели с бумажной и провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с жилами:				
	медные	3,0	2,5	2,0
	алюминиевые	1,6	1,4	1,2
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией с жилами				
	медные	3,5	3,1	2,7
	алюминиевые	1,9	1,7	1,6

3 КОМПЕНСИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Для компенсации реактивной нагрузки потребителей и потерь реактивной мощности в сетях применяются синхронные компенсаторы и батареи конденсаторов.

Некоторые данные о синхронных компенсаторах приведены в табл. 3.1, о комплектных конденсаторных установках в табл. 3.2.

Таблица 3.1 Синхронные компенсаторы

Тип	Мощность, МВ·А		$U_{\text{ном}}$, кВ
	при опережающем токе	при отстающем токе	
КС 2,8-6У3	2,8	1	6,3
КС 5-6У3	5	1,5	6,3
КС 10-6У3	10	5,5	6,3
КС 10-10У3	10	5,5	10,5
КС 16-6У3	16	9	6,3
КС 16-10У3	16	9	10,5
КС 25-10У3	25	16	10,5
КСВ 32-10У1	32	17	10,5
КСВБ 50-11У1	50	20	11
КСВБО 50-11У1	50	33	11
КСВБ 60-11У1	60	30	11
КСВБО 60-11У1	60	-	11
КСВ 75-11У1	75	-	11
КСВБ 100-11У1	100	50	11
КСВБО 100-11У1	100	82,5	11
КСВБ 160-15У1	160	80	15,75
КСВБО 160-15У1	160	132	15,75
КСВБ 320-20У1	320	-	20
КСВБО 320-20У1	320	-	20

Таблица 3.2 Комплектные конденсаторные установки

Тип	Напряжение, кВ	Мощность, квар
Низковольтные конденсаторные установки		
УК1-0,415-20 ТЗ	0,415	20
УК2-0,415-40 ТЗ	0,415	40
УК3-0,415-60 ТЗ	0,415	60
УК4-0,415-80 ТЗ	0,415	80
УК2-0,38-50 УЗ	0,38	50
УК3-0,38-75 УЗ	0,38	75
УК4-0,38-100 УЗ	0,38	100

УКБН-0,38-100-50 УЗ	0,38	100
УКБН-0,38-200-50 УЗ	0,38	200
УКБ-0,38-150 УЗ	0,38	150
УКБ-0,415-240 ТЗ	0,45	240
УКТБ-0,38-150 УЗ	0,38	150
УКБН-0,38-135 ТЗ	0,38	135
УКБН-0,44-135 ТЗ	0,44	135
УКТ-0,38-150 УЗ	0,38	150
УКЛН-0,38-300-150 УЗ	0,38	300
УКЛН-0,38-400-150 УЗ	0,38	450
УКЛН-0,38-600-150 УЗ	0,38	600
УКЛНТ-0,66-240 УЗ	0,66	240
УКЛНТ-0,66-480-240 УЗ	0,66	480
УКНТ-0,4-200-33 1/3УЗ	0,4	200
УКМ-0,4-250-50 УЗ	0,4	250
Высоковольтные конденсаторные установки		
УКЛ-6,3-450 УЗ	6,3	450
УКЛ-6,3-900 УЗ	6,3	900
УКЛ-6,3-1350 УЗ	6,3	1350
УКЛ-10,5-450 УЗ	10,5	450
УКЛ-10,5-900 УЗ	10,5	900
УКЛ-10,5-1350 УЗ	10,5	1350
УКЛ-10,5-2700 УЗ	10,5	2700
УКЛ-6,3-450 УЗ	6,3	450
УКЛ-10,5-450 УЗ	10,5	450
УКЛ-10,5-1800 УЗ	10,5	1800
КУ-10,5-330	10,5	330
КУ-10,5-500	10,5	500
УК-10,5-1125 УЗ	10,5	1125

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок – Мн.: УП "ДИЭКОС", 2003.
2. Справочник по проектированию электроэнергетических систем. Под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
3. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. –М.: Энергоатомиздат, 1989.
4. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию. –Ростов: Феникс, 2004.
5. Ильяшов В.П. Конденсаторные установки промышленных предприятий. –М.: Энергоатомиздат, 1983.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Силовые трехфазные трансформаторы.....	3
2. Воздушные и кабельные линии электропередачи	16
2.1. Воздушные линии.....	16
2.2. Кабельные линии.....	25
3. Компенсирующие устройства.....	38
Литература	40

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

Пособие

**по курсовому и дипломному проектированию
для студентов специальности
1-43 01 03 «Электроснабжение»
дневной и заочной форм обучения**

Авторы-составители: **Лычев** Петр Васильевич,
Головач Ольга Михайловна

Подписано в печать 02.05.06.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Цифровая печать. Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 2,46.
Изд. № 179.

E-mail: ic@gstu.gomel.by
<http://www.gstu.gomel.by>

Отпечатано на МФУ XEROX WorkCentre 35 DADF
с макета оригинала авторского для внутреннего использования.
Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого».
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.