

Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Электроснабжение»

А. Н. Бохан, С. Г. Жуковец

## **ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

**ПОСОБИЕ**

**по курсовому и дипломному проектированию  
для студентов специальности 1-43 01 03  
«Электроснабжение (по отраслям)»**

Гомель 2010

УДК 621.311(075.8)  
ББК 31.27я73  
Б86

*Рекомендовано научно-методическим советом  
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 4 от 22.12.2009 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Автоматизированный электропривод»  
ГГТУ им. П. О. Сухого *В. В. Тодарев*

**Бохан, А. Н.**  
Б86 Производство электроэнергии : пособие по курсовому и диплом. проектированию для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» / А. Н. Бохан, С. Г. Жуковец. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2010. – 86 с. – Систем. требования: PC не ниже рку Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Содержит краткие теоретические сведения и технические характеристики электрооборудования, необходимые для курсового и дипломного проектирования.

Для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)».

УДК 621.311(075.8)  
ББК 31.27я73

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2010

# 1. СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ И АВТОТРАНСФОРМАТОРЫ

## Основные определения

**Трансформатором** называется статическое электромагнитное устройство предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции системы переменного тока одного напряжения в одну или несколько систем другого напряжения. Передача энергии из первичной цепи трансформатора во вторичную цепь происходит посредством магнитного поля.

**Автотрансформатором** называется трансформатор, две или более обмоток, которого гальванически связаны так, что они имеют общую часть. Обмотки автотрансформатора связаны электрически и магнитно, и передача энергии из первичной цепи во вторичную цепь происходит как посредством магнитного поля, так и электрическим путем. Помимо гальванически связанных обмоток автотрансформатор может иметь и другие обмотки, не имеющие гальванической связи.

Трансформатор называется **силовым**, если он применяется для преобразования электрической энергии в электрических сетях и в установках, предназначенных для приема и использования электрической энергии. К силовым трансформаторам относятся трансформаторы трехфазные и многофазные мощностью 6,3 кВ·А и более, однофазные мощностью 5 кВ·А и более. При меньших мощностях трансформаторы называются трансформаторами малой мощности.

## Классификация трансформаторов

*По системе охлаждения:*

а) Естественное воздушное охлаждение – обмотки, магнитная система и другие части – трансформатора имеют непосредственное соприкосновение с окружающим воздухом; охлаждение происходит путем излучения и естественной конвекции воздуха; применяется для мощностей до 1600-2500 кВ·А и напряжений до 10-20 кВ; трансформатор может снабжаться защитным кожухом.

Сравнительно редко применяются сухие герметичные трансформаторы, заполненные воздухом или другим газом, играющим роль изолирующей среды и теплоносителя, и трансформаторы с литой изоляцией или кварцenaполненные, в которых изолирующей средой и теплоносителем служит литой электроизоляционный компаунд или кварцевый песок.

б) Естественное масляное охлаждение – активная часть трансформатора помещается в бак, заливаемый трансформаторным маслом, служащим изолирующей средой и теплоносителем; охлаждение обмоток и магнитной системы происходит путем естественной конвекции масла, поверхности бака – путем излучения и естественной конвекции воздуха; применяется для мощностей 10-10000 кВ·А.

В некоторых случаях бак заливается другим жидким диэлектриком, например совтолом, играющим в охлаждении трансформатора ту же роль, что и масло.

в) Масляное охлаждение дутьем – теплоотдача с поверхности бака и его частей форсируется путем обдувания поверхности вентиляторами при естественной конвекции масла внутри бака; позволяет увеличить теплоотдачу примерно в 1,5-1,6 раза по сравнению естественным; применяется для мощностей 10000-63000 кВ·А.

г) Масляное охлаждение с принудительной циркуляцией масла - масло из бака откачивается насосом, прогоняется через водяной или воздушный теплообменник и, охлажденное возвращается в бак; применяется при мощностях 16000-25000 кВ·А и более, а для специальных трансформаторов, служащих для питания электропечей, – и мощностях 2800-5000 кВ·А и более.

*По форме магнитной системы:*

Различают магнитные системы плоские, т.е. такие, в которых продольные оси всех стержней и ярм расположены в одной плоскости, и пространственные, в которых эти оси расположены в разных плоскостях.

*По схеме магнитной системы:*

а) Стержневые трансформаторы – ярма, замыкающие магнитную цепь прилегают к торцевым поверхностям обмоток, не охватывая их боковых поверхностей; стержни, несущие обмотки, располагаются вертикально;

б) Броневые трансформаторы – ярма охватывают не только торцевые, но и боковые поверхности обмоток; стержни могут располагаться горизонтально или вертикально; каждый стержень имеет не менее двух боковых ярм;

в) Бронестержневые трансформаторы – только часть стержней имеют боковые ярма или каждый стержень имеет не более одного бокового ярма.

*По расположению обмоток:*

а) Трансформаторы с концентрическими обмотками – обмотки ВН и НН (также СН) выполняются в виде цилиндров и располагаются на стержне концентрически.

Концентрические обмотки могут располагаться на стержнях силовых трансформаторов и автотрансформаторов в различном порядке;

б) Трансформаторы с чередующимися обмотками – обмотки ВН и НН выполняются в виде невысоких цилиндров и располагаются чередуясь в осевом направлении.

Технические характеристики силовых трансформаторов и автотрансформаторов 6-330 кВ приведены в таблицах 1.1 – 1. 10.

Таблица 1.1

## Трехфазные двухобмоточные трансформаторы 6, 10 кВ

Тип	$S_{\text{ном}}$ , кВ·А	Каталожные данные						
		$U_{\text{ном}}$ обмоток, кВ		$U_{\text{к}}$ , %	$\Delta P_{\text{к}}$ , кВт	$\Delta P_{\text{х}}$ , кВт	$I_{\text{х}}$ , %	Стоимость, тыс у.е.
		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	цена завода изготовителя
ТМ-25/10	25	10	0,4; 0,23	4,5 – 4,7	0,6 – 0,69	0,105 – 0,125	3,2	-//-
ТМ-40/6	40	6,3	0,23	4,5 – 4,7	0,88	0,24	4,5	-//-
ТМ-40/10	40	10	0,4	4,5	0,88 - 1	0,15 – 0,18	3,0	-//-
ТМ-63/6	63	6,3	0,4; 0,23	4,5 – 4,7	1,28 – 1,47	0,36	4,5	-//-
ТМ-63/10	63	10	0,4; 0,23	4,7	1,28 – 1,47	0,22	2,8	-//-
ТМ-100/6	100	6,3	0,4; 0,23	4,5 – 4,7	1,97 – 2,27	0,31 – 0,365	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	-//-
ТМ-160/6-10 У1*	160	6,3; 10	0,4; 0,23; 0,69	4,5 – 4,7	2,67 – 3,1	0,46 – 0,54	2,4	-//-
ТМ-250/10 У1*	250	10	0,4; 0,23	4,5 – 4,7	3,7 – 4,2	1,05	2,3 – 3,7	-//-
ТМ-400/10 У1*	400	10	0,4; 0,23; 0,69	4,5	5,5 – 5,9	0,92 – 1,08	2,1 – 3,0	-//-
ТМ-630/10 У1*	630	10	0,23; 0,4; 0,69	5,5	7,6 – 8,5	1,42 – 1,68	2,0 – 3,0	-//-
ТМГ12	630	6;10	0,4	5,5	6,75	0,8	0,6	-//-
ТМ-1000/6	1000	6,3	0,23; 0,4; 0,69	8	12,2	2,3 – 2,75	1,5	2,965
ТМ-1000/10	1000	10	0,23; 0,4; 0,69	5,5	12,2 – 11,6	2,1 – 2,45	1,4 – 2,8	2,965
ТМГ12	1000	6;10	0,4	5,5	10,5	1,1	0,5	цена завода изготовителя
ТМ-1600/10	1600	10	0,4; 0,69	5,5	18	2,8 – 3,3	1,3 – 2,6	4,15
ТМ-2500/10	2500	10	0,69 – 10,5	5,5	25 – 23,5	3,9 – 4,6	1,0	5,8
ТМ-4000/10 У1*	4000	10	3,15; 6,3	7,5	20	4,1	1,2	цена завода изготовителя
ТМ-6300/10 У1*	6300	10	3,15; 6,3; 10,5	7,8	21	4,9	1,5	-//-

Примечания: 1. ТМГ12 – энергосберегающие трансформаторы Минского электротехнического завода имени В.И. Козлова;

2. \* – трансформаторы ОАО «Запорожтрансформатор» 1999-2000 гг. выпуска.

Таблица 1.2

## Трехфазные двухобмоточные трансформаторы 20; 35 кВ

Тип	$S_{\text{ном}}$ МВ·А	Каталожные данные						Стоимость, тыс у.е
		$U_{\text{ном}}$ 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	35	0,4	6,5	1,9	0,5	2,6	1
ТМ-160/35	0,16	35	0,4; 0,69	6,5	2,6; 3,1	0,7	2,4	1,4
ТМ-250/35	0,25	35	0,4; 0,69	6,5	3,7; 4,2	1,0	2,3	1,8
ТМН(ТМ)-400/35	0,4	35	0,4; 0,69	6,5	7,6; 8,5	1,9	2,0	2,34
ТМН(ТМ)-630/35	0,63	35	0,4; 0,69; 6,3; 11	6,5	11,6; 12,2	2,7	1,5	3,05
ТМН(ТМ)-1000/35 У1*	1	35	0,4; 0,69; 6,3; 11	6,5	16,5; 18	3,6	1,4	цена завода изготовителя
ТМН(ТМ)-1600/35 У1*	1,6	35	6,3; 11	6,5	23,5; 26	5,1	1,1	-//-
ТМН(ТМ)-2500/35 У1*	2,5	35	6,3; 11	6,5	23,5; 26	5,1	1,1	-//-
ТМН(ТМ)-4000/35 У1*	4,0	35	6,3; 11	7,5	33,5	6,7	1,0	-//-
ТМН(ТМ)-4000/20 У1*	4,0	20	6,3; 11	7,5	34	6,8	1,1	-//-
ТМН(ТМ)-6300/35 У1*	6,3	35	6,3; 11	7,5	46,5	9,2	0,9	-//-
ТМН(ТМ)-6300/20 У1*	6,3	20	6,3; 11	7,5	47	9,5	0,8	-//-
ТД-10000/35	10	38,5	6,3; 10,5	7,5	65	14,5	0,8	43
ТМН-10000/35	10	36,75	6,3; 10,5	7,5	65	14,5	0,8	43
ТДНС-10000/35 У1*	10	36,75	6,3; 10,5	8,0	60	12,5	0,6	цена завода изготовителя
ТД-16000/35	16	38,5	6,3; 10,5	8,0	90	21	0,6	43
ТДНС-16000/35 У1*	16	36,75	6,3; 10,5	10	85	18	0,55	цена завода изготовителя
ТДНС-16000/20 У1*	16	36,75	6,3; 10,5	10	83	15	0,53	-//-
ТРДНС-25000/35	25	36,75	6,3-6,3; 10,5-10,5	9,5	115	25	0,5	62
ТРДНС-32000/35	32	36,75	6,3-6,3; 10,5-10,5	11,5	145	30	0,45	76
ТРДНС-40000/35	40	36,75	6,3-6,3; 10,5-10,5	11,5	170	36	0,4	79
ТРДНС-63000/35	63	36,75	6,3-6,3; 10,5-10,5	11,5	250	50	0,3	107

Примечания: 1. Трансформаторы типа ТМ, указанные в скобках, имеют ПБВ  $\pm 2 \times 2,5\%$  на стороне ВН.

2. \* - трансформаторы ОАО «Запорожтрансформатор» 1999-2000 гг. выпуска.

Таблица 1.3

## Трехфазные трехобмоточные трансформаторы 35 кВ

Тип	$S_{\text{ном}}$ , МВ·А	Каталожные данные									Стоимость, тыс у.е
		$U_{\text{ном}}$ 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	35	10,5(11); 13,8	6,3(6,6)	7,5	7,5	16,5	55	12	0,85	29
ТДТН-10000/35	10	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	37
ТДТН-16000/35	16	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	47

Таблица 1.4  
Трехфазные трехобмоточные трансформаторы 110 кВ

Тип	$S_{\text{ном}}$ МВ·А	Каталожные данные									Стоимость, тыс у.е
		$U_{\text{ном}}$ 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 У1*	6,3	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6	58	14	1,2	цена завода изготовителя
ТДТН-10000/110 У1*	10	115	22; 38,5; 16,5	6,6; 11	10,5	17	6	76	17	1,1	цена завода изготовителя
ТДТН-16000/110	16	115	22; 38,5; 11	6,6; 11	10,5	17	6	100	23	1	62
ТДТН-25000/110 У1*	25	115	11; 38,5	6,6; 11	10,5	17,5	6,5	140	31	0,7	цена завода изготовителя
ТДТНЖ-25000/110 У1*	25	115	38,5; 27,5	6,6; 11; 27,5	10,5 (17)	17 (10,5)	6	140	42	0,9	цена завода изготовителя
ТДТН-40000/110 У1*	40	115	11; 22; 38,5	6,6; 11	10,5 (17)	17 (10,5)	6	200	43	0,6	цена завода изготовителя
ТДТНЖ-40000/110 У1*	40	115	27,5; 35,5	6,6; 11; 27,5	10,5 (17)	17 (10,5)	6	200	63	0,8	цена завода изготовителя
ТДТН-63000/110 (ТДЦТН) У1*	63	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6,5	290	56	0,7	цена завода изготовителя
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	137

Примечания: 1. \* - трансформаторы ОАО «Запорожтрансформатор» 1999-2000 гг. выпуска.

2. в обозначении: Ж – для электрификации железных дорог.

Таблица 1.5

## Трехфазные двухобмоточные трансформаторы 110 кВ

Тип	S <sub>ном</sub> , МВ·А	Каталожные данные						Стоимость, тыс у.е
		U <sub>ном</sub> обмоток, кВ		U <sub>к</sub> , %	ΔP <sub>к</sub> , кВт	ΔP <sub>х</sub> , кВт	I <sub>х</sub> , %	
		ВН	НН					
ТМН-2500/110	2,5	110	6,6; 11	10,5	22	5,5	1,5	26
ТМН-6300/110 У1*	6,3	115	6,6; 11; 16,5	10,5	44	11,5	0,8	цена завода изго- товителя
ТДН-10000/110 У1*	10	115	6,6; 11; 16,5	10,5	60	14	0,7	цена завода изго- товителя
ТДН-16000/110 У1*	16	115	6,5; 11	10,5	85	19	0,7	цена завода изго- товителя
ТДНЖ-25000/110	25	115	27,5	10,5	120	30	0,7	72,3
ТРДН-25000/110 У1* (ТРДНФ)-25000/110	25	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	120	27	0,7	цена завода изго- товителя
ТДН-40000/110 У1*	40	121	3,15; 6,3; 10,5	17	160	50	0,65	цена завода изго- товителя
ТРДН-40000/110 У1*	40	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	172	36	0,65	цена завода изго- товителя
ТРДНС-40000/110	40	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	175	42	0,7	88
ТРДН-63000/110 У1*	63	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	260	59	0,6	цена завода изго- товителя
ТРДЦНК-63000/110	63	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	245	59	0,6	121,5
ТДН-80000/110	80	121	6,3; 10,5; 13,8	10,5	310	70	0,6	65,5
ТРДЦН-80000/110 (ТРДЦНК)	80	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	310	70	0,6	140
ТДЦ-125000/110 У1*	125	121	10,5; 13,8	10,5	400	120	0,55	цена завода изго- товителя

Тип	$S_{\text{ном}}$ , МВ·А	Каталожные данные						Стоимость, тыс у.е
		$U_{\text{ном}}$ обмоток, кВ		$U_{\text{к}}$ , %	$\Delta P_{\text{к}}$ , кВт	$\Delta P_{\text{х}}$ , кВт	$I_{\text{х}}$ , %	
		ВН	НН					
ТРДЦН-125000/110	125	115	10,5/10,5	10,5	400	100	0,55	
ТДЦ-200000/110 У1*	200	121	13,8; 15,75; 18	10,5	550	170	0,5	цена завода изгото- товителя
ТДЦ-250000/110	250	121	15,75	10,5	640	200	0,5	255
ТДЦ-400000/110	400	121	20	10,5	900	320	0,45	255

- Примечания:* 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 ОАО «Запорожтрансформатор» 1999-2000 гг. выпуска.

Таблица 1.6

## Трехфазные трансформаторы 150 кВ

Тип	$S_{\text{ном}}$ , МВ·А	Каталожные данные						$\Delta P_{\text{к}}$ , кВт	$\Delta P_{\text{х}}$ , кВт	$I_{\text{х}}$ , %	Стоимость, тыс у.е
		$U_{\text{ном}}$ обмоток, кВ			$U_{\text{к}}$ , %						
		ВН	СН	НН	В-С	В-Н	С-Н				
ТДН-16000/150 У1*	16	158	-	6,6; 11	-	11	-	80	18	0,71	цена завода из- готовителя
ТДТН-16000/150 У1*	16	158	38,5	6,6; 11	10,5	17,5	6,5	70	15	1,0	цена завода из- готовителя
ТДТН-25000/150 У1*	25	158	38,5	6,6; 11	10,5	18	6,5	150	30	0,65	цена завода из- готовителя
ТРДН – 32000/150 У1*	32	158	-	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	-	10,5	-	163	52	0,87	цена завода из- готовителя
ТДТН-40000/150 У1*	40	158	11; 38,5	6,6; 11	10,5	18,5	7	165	48	0,8	цена завода из- готовителя
ТРДН – 63000/150 У1*	63	158	-	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	-	13	-	280	80	0,7	цена завода из- готовителя
ТДТН-63000/150 У1*	63	158	11; 38,5	6,6; 11	10,5	19	7,5	260	50	0,8	цена завода из- готовителя
ТЦ-125000/150 У1*	125	165	-	13,8	-	11	-	390	55	0,65	цена завода из- готовителя

Примечание: \* – трансформаторы ОАО «Запорожтрансформатор» 1999-2000 гг. выпуска.

Таблица 1.7

## Трехфазные двухобмоточные трансформаторы 220 кВ

Тип	$S_{\text{ном}}$ , МВ·А	Каталожные данные						Стоимость, тыс у.е
		$U_{\text{ном}}$ обмоток, кВ		$U_{\text{к}}$ , %	$\Delta P_{\text{к}}$ , кВт	$\Delta P_{\text{х}}$ , кВт	$I_{\text{х}}$ , %	
		ВН	НН					
ТРДН-32000/220	32	230	6,6/6,6; 11/11; 6,6/11	12	167	53	0,9	119,6
ТРДНС-40000/220 У1*	40	230	6,6/6,6; 11/11	12	170	50	0,9	цена завода изготовителя
ТРДЦН-63000/220	63	230	6,6/6,6; 11/11	12	300	82	0,8	156,6
ТДЦ-80000/220 У1*	80	242	6,3; 10,5; 13,8	11	320	105	0,6	цена завода изготовителя
ТРДЦН-100000/220	100	230	11/11; 38,5	12	360	115	0,7	190
ТДЦ-125000/220 У1*	125	242	10,5; 13,8	11	380	135	0,5	цена завода изготовителя
ТРДЦН-160000/220	160	230	11/11; 38,5	12	525	167	0,6	269
ТЦ-160000/220 УХЛ1*	160	242	13,8	11				цена завода изготовителя
ТДЦ-200000/220 У1*	200	242	13,8; 15,75; 18	11	580	200	0,45	цена завода изготовителя
ТДЦ-250000/220	250	242	13,8; 15,75	11	650	240	0,45	284
ТДЦ-400000/220	400	242	13,8; 15,75; 20	11	880	330	0,4	389
ТНЦ-630000/220	630	242	15,75; 20	11	1300	380	0,35	574
ТЦ-630000/220	630	242	15,75; 20	12,5	1300	380	0,35	574
ТЦ-1000000/220	1000	242	24	11,5	2200	480	0,35	580
ОД-66667/220 У1*	66,657	$230/\sqrt{3}$	11	12				цена завода изготовителя

Примечание: \* – трансформаторы ОАО «Запорожтрансформатор» 1999-2000 гг. выпуска.

Таблица 1.8

## Трехфазные трехобмоточные трансформаторы и автотрансформаторы 220 кВ

Тип	$S_{\text{ном}}$ , МВ·А	Каталожные данные										Стоимость, тыс у.е
		$U_{\text{ном}}$ обмоток, кВ			$U_{\text{кз}}$ %			$\Delta P_{\text{к}}$ кВт			$\Delta P_{\text{x}}$ , кВт	
		ВН	СН	НН	ВН- СН	ВН- НН	СН- НН	ВН- СН	ВН- НН	СН- НН		
ТДТН-25000/220 У1*	25	230	38,5	6,6; 11	12,5	20	6,5	135	-	-	50	цена завода изготовителя
ТДТНЖ-25000/220	25	230	27,5; 38,5	6,6; 11; 27,5	12,5	20	6,5	135	-	-	50	цена завода изготовителя
ТДТН-40000/220 У1*	40	230	38,5	6,6; 11	12,5	22	9,5	220	-	-	55	цена завода изготовителя
ТДТНЖ-40000/220	40	230	27,5; 38,5	6,6; 11; 27,5	12,5	22	9,5	240	-	-	66	цена завода изготовителя
АТДЦТН- 63000/220/110 У1*	63	230	121	6,6; 11; 27,5; 38,5	11	35,7	21,9	215	-	-	45	цена завода изготовителя
АТДЦТН- 125000/220/110 У1*	125	230	121	0,4; 6,6; 11; 38,5	11/11	31/45	19/28	290/ 305	-	-	85/6 5	цена завода изготовителя
АТДЦТН- 200000/220/110 У1*	200	230	121	6,6; 11; 15,75; 38,5	11	32	20	430	-	-	125	цена завода изготовителя
АТДЦТН- 250000/220/110 У1*	250	230	121	10,5; 38,5	11,5	33,4	20,8	520	-	-	145	цена завода изготовителя

Примечания: 1. \* – трансформаторы ОАО «Запорожтрансформатор» 1999-2000 гг. выпуска  
2. в обозначении: Ж – для электрификации железных дорог.

Таблица 1.9

## Трехфазные трансформаторы 330 кВ

Тип	$S_{\text{ном}}$ , МВ·А	Каталожные данные						Стоимость, тыс у.е
		$U_{\text{ном}}$ обмоток, кВ		$U_{\text{к}}$ , %	$\Delta P_{\text{к}}$ , кВт	$\Delta P_{\text{х}}$ , кВт	$I_{\text{х}}$ , %	
		ВН	НН1; НН2					
ТРДНС-63000/330 У1*	63	330	6,3/6,3; 10,5/10,5; 6,3/10,5	18,5	100	230	0,8	цена завода изготовителя
ТНЦ-1250000/330 У1*	1250	347	24	14,5	715	2200	0,55	цена завода изготовителя
ТДЦ-400000/330 У1*	400	330	20	11,5	300	790	0,45	цена завода изготовителя
ТДЦ-250000/330 У1*	250	347	13,8;15,75	11	214	605	0,5	цена завода изготовителя

Примечание: \* – трансформаторы ОАО «Запорожтрансформатор» 1999-2000 гг. выпуска.

Таблица 1.10

## Трехфазные трансформаторы и автотрансформаторы 330 кВ

Тип	$S_{\text{ном}}$ , МВ·А	Каталожные данные								Стоимость, тыс у.е
		$U_{\text{ном}}$ 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		
АТДЦТН- 125000/330/110 У1*	125	230	115	6,6; 10,5; 11; 38,5	10,5	37	25	290	85	цена завода изготовителя
АОДЦТН- 133000/330/220 У1*	133	$330/\sqrt{3}$	$230/\sqrt{3}$	10,5; 38,5	9	60	48	400	125	цена завода изготовителя
АТДЦТН- 200000/330/110 У1*	200	330	115	6,6; 10,5; 38,5	10,5	38	25	430	125	цена завода изготовителя
АТДЦТН- 25000/330/150 У1*	250	330	158	10,5; 38,5	10,5	54	42	380	115	цена завода изготовителя
АТДЦТН- 250000/330/220 У1*	250	330	230	10,5; 38,5	10,5	72,5	90	520	145	цена завода изготовителя
АТДЦТН- 40000/330/150 У1*	400	330	-	165	-	11	-	350	118	цена завода изготовителя

Примечание: \* – трансформаторы ОАО «Запорожтрансформатор» 1999-2000 гг. выпуска.

## 2. КОММУТАЦИОННЫЕ АППАРАТЫ

К коммутационным аппаратам относят выключатели, выключатели нагрузки и разъединители. Они служат для коммутации цепей распределения энергии, вырабатываемой электростанциями, и для коммутации цепей схем электроснабжения потребителей.

Одной из наиболее сложных проблем при коммутации сильных токов является гашение дуги, возникающей между контактами. В соответствии с методами гашения дуги определяют типы выключателей.

### 2.1. Высоковольтные выключатели

*Масляные выключатели* – дугогасительное устройство заполнено трансформаторным маслом. В настоящее время распространены маломасляные выключатели на напряжение 10 ... 20 кВ и 110 ... 220 кВ.

*Электромагнитные выключатели* – в этих выключателях на электрическую дугу действует магнитное поле, которое загоняет дугу в керамическую гасительную дугу, выпускаются на напряжение 6 ... 10 кВ.

*Воздушные выключатели* – гашение дуги осуществляется посредством потока сжатого воздуха. Номинальное напряжение этих выключателей до 1150 кВ;

*Элегазовые выключатели* – гашение дуги производится либо потоком элегаза, либо путем подъема давления в камере за счет дуги, горящей в замкнутом объеме газа. Применяются на все классы напряжения.

*Вакуумные выключатели* – в этих выключателях контакты находятся в вакууме, применяются при напряжении до 35 кВ.

*Выключатели нагрузки* – эти выключатели предназначены в основном для включения и отключения нагрузочных токов цепей вплоть до номинальных токов (1000 А, 10 кВ). Эти аппараты не способны отключать токи КЗ, которые отключаются либо предохранителями, либо другими выключателями, включенными последовательно с выключателями нагрузки.

Технические характеристики перечисленных выключателей приведены в таблицах 2.1-2.7.

Таблица 2.1

## Технические характеристики масляных выключателей

Тип выключателя	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Номинальный ток отключения, кА	Амплитуда сквозного тока, кА	Ток и время термической стойкости, кА/с	Собственное время включения с приводом, с / время отключения, с
ВМ-10-400/630-10	10	400	10	10	10 / 4	0,2 / 0,085
ВМПЭ-10-630-20	10	630	20	20	20 / 4	0,3 / 0,12
ВМПЭ-10-1000-20	10	1000	20	20	20 / 4	0,3 / 0,12
ВМПЭ-10-1600-20	10	1600	20	20	20 / 4	0,3 / 0,12
ВММ-10-630-10	10	630	10	10	10 / 4	0,3 / 0,12
ВММ-10-630-10	10	630	10	10	10 / 4	0,2 / 0,12
ВКЭ-10-31,5/630	10	630	31,5	31,5	31,5 / 4	0,2 / 0,12
ВК-10-630-20	10	630	20	20	20 / 4	0,075 / 0,07
ВК-10-1000-20	10	1000	20	20	20 / 4	0,075 / 0,07
ВК-10-1600-20	10	1600	20	20	20 / 4	0,075 / 0,07
МГГ -10 (ЗАО «Высоковольтный союз», Украина)	10	2000-5600	45;63	120; 170	45 / 3; 63/ 3	0,4 / 0,12
МГГ -10-4000-45	10	4000	45	45	45 / 4	0,4 / 0,15
МГГ -10-5000-45	10	5000	45	45	45 / 4	0,4 / 0,15
МГГ -10-5000-63	10	5000	63	63	63 / 4	0,4 / 0,15
ВГМ -15 (ЗАО «Высоковольтный союз», Украина)	15	10000-11200	71; 90	290; 320	95 / 3; 105/ 3	0,7/ 0,15
МГУ -20 (ЗАО «Высоковольтный союз», Украина)	20	5700-9500	75; 90; 105	270; 300	95 / 3; 105/ 3	0,2 / 0,15
ВМТ-110Б-20/1000	110	1000	20	20	20 / 4	0,08 / 0,05
ВМТ-220Б-20/1000	220	1000	20	20	20 / 4	0,08 / 0,05

*В обозначении:* Первая буква – означает выключатель: вторая М – масляный, третья – тип исполнения выключателя: Г – горшковые исполнения полюсов, а также тип привода выключателя: ПЭ – привод электромагнитный встроенный, ПП – привод пружинный встроенный, М – маломасляный со встроенным пружинным приводом, Г – маломасляный генераторный, ВК – выкатного типа с внешними розеточными контактами.

Таблица 2.2

## Технические характеристики электромагнитных выключателей

Тип выключателя	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Номинальный ток отключения, кА	Амплитуда сквозного тока, кА	Ток и время термической стойкости, кА/с	Собственное время включения с приводом, с / время отключения, с
ВЭМ-6-2000/40	6	2000	40	40	40 / 4	0,35 / 0,08
ВЭМ-6-3200/40	6	3200	40	40	40 / 4	0,35 / 0,08
ВЭМ-10Э-1000/12,5	10	1000	12,5	12,5	20 / 5	0,4 / 0,08
ВЭМ-10Э-1250/12,5	10	1250	12,5	12,5	20 / 5	0,4 / 0,08
ВЭМ-10Э-1000/20	10	1000	20	20	20 / 4	0,4 / 0,08
ВЭМ-10Э-1250/20	10	1250	20	20	20 / 4	0,4 / 0,08
ВЭ-10-1250-20	10	1250	20	20	20 / 4	0,075 / 0,075
ВЭ-10-1600-20	10	1600	20	20	20 / 4	0,075 / 0,075
ВЭ-10-2500-20	10	2500	20	20	20 / 4	0,075 / 0,075
ВЭ-10-3600-20	10	3600	20	20	20 / 4	0,075 / 0,075
ВЭ-10-1250-31,5	10	1250	31,5	31,5	31,5 / 4	0,075 / 0,075
ВЭ-10-1600-31,5	10	1600	31,5	31,5	31,5 / 4	0,075 / 0,075
ВЭ-10-2500-31,5	10	2500	31,5	31,5	31,5 / 4	0,075 / 0,075
ВЭ-10-3600-31,5	10	3600	31,5	31,5	31,5 / 4	0,075 / 0,075

Таблица 2.3

## Технические характеристики воздушных генераторных выключателей

Тип выключателя	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Номинальный ток отключения, кА	Амплитуда сквозного тока, кА	Ток и время термической стойкости, кА/с	Номинальное избыточное давление, МПа
ВВОА-15-140/12500 У3	15	12500	140	140	140 / 4	2
ВВЧП-15-20/1000 У3	15	1000	20	20	20 / 4	2
ВВГ-20-160/12500 У3	20	12500	160	160	160 / 4	2
ВВГ-20-160/20000 У3	20	20000	160	160	160 / 4	2
ВВГ-20-160/8000 ТСЗ	20	8000	160	160	160 / 4	2
ВВГ-20-160/12500 ТСЗ	20	11200	160	160	160 / 4	2
КАГ -24-30/30000 У3	24	30000	30	30	30 / 4	2

*В обозначении:* ВВОА – выключатель воздушный для выполнения коммутационных операций обратимых агрегатов ГАЭС (гидроаккумулирующих электростанций); ВВЧП – выключатель воздушный для выполнения коммутационных операций частотного преобразователя; КАГ – комплекс аппаратно – генераторный (каждый полюс включает в себя выключатель нагрузки, разъединитель, заземлитель и пять трансформаторов напряжения).

Таблица 2.4

## Технические характеристики воздушных сетевых выключателей

Тип выключателя	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Номинальный ток отключения, кА	Амплитуда сквозного тока, кА	Ток и время термической стойкости, кА/с	Номинальное избыточное давление, МПа
<b>Выключатели воздушные усиленные по скорости (частоте) восстанавливающего напряжения</b>						
ВВУ-35А-40/2000 У1	35	2000	40	40	40 / 4	2
ВВУ-35111-40/3150 У1	35	3150	40	40	40 / 4	2
ВВУ-35Ш-40/2000 ХЛ1	35	2000	40	40	40/4	2
ВВУ-110Б-40/2000 У1	110	2000	40	40	40/4	2
<b>Выключатели воздушные сетевые крупномодульные</b>						
ВВБМ-110Б-31,5/2000 У1	110	2000	31,5	31,5	31,5 / 4	2
ВВБМ-110Б-31,5/2000 ХЛ1	110	2000	31,5	31,5	31,5 / 4	2
ВВБК-110Б-50/3150 У1	110	3150	50	50	50 / 4	2
ВВБТ-110Б-31,5/1600 Т1	110	1600	31,5	31,5	31,5 / 4	2
ВВБК-220Б-56/3150 У1	220	3150	56	56	56 / 4	2
ВВБТ-220Б-31,5/1600 Т1	220	1600	31,5	31,5	31,5 / 4	2
ВВБК-220Б-56/3150 ХЛ1	220	3150	56	56	56 / 4	2
ВВБ-500А-35,5/2000 У1	500	2000	35,5	35,5	35,5 / 4	2
ВВБ-500А-35,5/2000 ХЛ1	500	2000	35,5	35,5	35,5 / 4	2
ВВБК-500А-50/3150 У1	500	3150	50	50	50 / 4	4
ВВБК-500А-50/3150 ХЛ1	500	3150	50	50	50 / 4	4

Окончание табл. 2.4

Тип выключателя	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Номинальный ток отключения, кА	Амплитуда сквозного тока, кА	Ток и время термической стойкости, кА/с	Номинальное избыточное давление, МПа
<b>Выключатели воздушные сетевые сейсмостойкие</b>						
ВВС –110Б-31,5/2000 У1	110	2000	31,5	31,5	31,5 / 4	2
ВВС–110Б-31,5/2000 ХЛ1	110	2000	31,5	31,5	31,5 / 4	2
ВВКС –110Б-50/3150 У1	110	3150	50	50	50 / 4	4
ВВС–220Б-40/2000 ХЛ1	220	2000	40	40	40 / 4	3,2
ВВКС –220Б-56/3150 У1	220	3150	56	56	56 / 4	4
ВВС–220Б-40/2000 ХЛ1	220	2000	40	40	40 / 4	3,2
ВВКС –220Б-56/3150 У1	220	3150	56	56	56 / 4	4

*В обозначении:* ВВУ – выключатель воздушный усиленный по скорости (частоте) восстанавливающего напряжения;  
 ВВБК – выключатель воздушный крупномодульный с металлической гасительной камерой;  
 ВВБМ – выключатель воздушный крупномодульный модернизированный;  
 ВВБТ – выключатель воздушный крупномодульный в тропическом исполнении;  
 ВВС – выключатель воздушный крупномодульный, сейсмостойкий;  
 ВВКС – выключатель воздушный крупномодульный, сейсмостойкий с металлической гасительной камерой.

Таблица 2.5

## Технические характеристики элегазовых выключателей

Тип выключателя	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Номинальный ток отключения, кА	Амплитуда сквозного тока, кА	Ток и время термической стойкости, кА/с
ВГБЭП-35-12,5/630 УХЛ1 (ОАО «Уралэлектротряжмаш», фил. «Энергомаш» г. Екатеринбург)	35	630	12,5	12,5	20 / 3
ВГБ-35	35	630	12,5	50	20/3
ВГБЭ-35-12,5/630 УХЛ1 (ОАО «Уралэлектротряжмаш», фил. «Энергомаш» г. Екатеринбург)	35	630	12,5	50	20/3
ЛТВ-145D1/В (ABB Электроинжиниринг, г. Москва)	110	3150	31,5; 40	80; 102	31,5/3; 40/3
НPL-145А (ABB Электроинжиниринг, г. Москва)	145	3150/ 4000	50/ 63	158	50/3; 63/3
ВГТ-110//-40/2500У (ОАО «Уралэлектротряжмаш», фил. «Энергомаш» г. Екатеринбург)	110	2500	40	102	140 / 3
ВГТ-110//-40/2000У1 (ОАО «Уралэлектротряжмаш», фил. «Энергомаш» г. Екатеринбург)	110	2500	40	102	140 / 3
ВГК-220//-40/2500У1 (ОАО «Уралэлектротряжмаш», фил. «Энергомаш» г. Екатеринбург)	220	3150	31,5	102	140 / 3
ВЭБ-110-40/2500УХЛ1 (ОАО «Уралэлектротряжмаш», фил. «Энергомаш» г. Екатеринбург)	110	2500	40	102	40 / 3
ВГБУ-220	220	2000	50	102	50 / 3

Тип выключателя	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Номинальный ток отключения, кА	Амплитуда сквозного тока, кА	Ток и время термической стойкости, кА/с
ВГТ-220-40/2000 Т1 (ОАО «Уралэлектротряжмаш», фил. «Энергомаш» г. Екатеринбург)	220	2000	31,5	102	40 / 3
ВГБ-220-40/2000 У1	220	2000	40	102	40 / 3
ВГГ-330-40/3150 У1 (ОАО «Уралэлектротряжмаш», фил. «Энергомаш» г. Екатеринбург)	330	3150	40	102	40 / 3
ВГУ-500	500	3150	40	102	40 / 3
НРL-550В2 (ABB Электроинжиниринг, г. Москва)	550	5000	50/ 63	125/157,5	50/3; 63/3
ВГГ-750-40/3150У1 (ОАО «Уралэлектротряжмаш», фил. «Энергомаш» г. Екатеринбург)	750	3150	40	102	40/3
НРL-800В4 (ABB Электроинжиниринг, г. Москва)	800	5000	50/ 63	125/157,5	50/3; 63/3

Таблица 2.6

## Технические характеристики вакуумных выключателей

Тип выключателя	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Номинальный ток отключения, кА	Амплитуда сквозного тока, кА	Ток и время термической стойкости, кА/с
ВРС-10 (ЗАО «Высоковольтный союз, Украина)	10	3150	40	102	40 / 3
ВРС-10 (ЗАО «Высоковольтный союз, Украина)	10	630	20	52	20 / 3
ВР-6 (ЗАО «Высоковольтный союз, Украина)	6	1600	40	128	40 / 3
ВР-6 (ЗАО «Высоковольтный союз, Украина)	6	2000	40	128	40 / 3
ВР-6В (ЗАО «Высоковольтный союз, Украина)	6	3150	40	128	40 / 3
ВВУ-СЭЩ-Э(П)З-10-20/1000 («Электрощит» г. Самара)	10	1000	20	52	20 / 3
ВВУ-СЭЩ-Э(П)З-10-20/1600 («Электрощит» г. Самара)	10	1600	20	52	20 / 3
ВВУ-СЭЩ-П-10-40/3150 («Электрощит» г. Самара)	10	3150	40	104	40 / 3
ВБКЭ-10	10	630	20	52	20 / 3
ВБКЭ-10	10	1000	31,5	80	31,5 / 3
ВБКЭ-10	10	1600	31,5	80	31,5 / 3
ВБМЭ-10	10	630	20	52	20 / 3
ВБМЭ-10	10	1000	31,5	80	31,5 / 3
ВБМЭ-10	10	1600	31,5	80	31,5 / 3
ВБМЭ-10	10	2500	40	80	31,5 / 3
ВБТЭ-10	10	630	20	52	20 / 3
ВБТЭ-10	10	1000	31,5	80	31,5 / 3

Тип выключателя	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Номинальный ток отключения, кА	Амплитуда сквозного тока, кА	Ток и время термической стойкости, кА/с
ВБТЭ-10	10	1600	31,5	80	31,5 / 3
ВВПЭ-10-31,5/630У3 (ОАО «Уралэлектротяжмаш», фил. «Энергомаш» г. Екатеринбург)	10	630	31,5	52	20 / 3
ВВПЭ-10-31,5/1000У3 (ОАО «Уралэлектротяжмаш», фил. «Энергомаш» г. Екатеринбург)	10	1000	31,5	80	31,5 / 3
ВВПЭ-10-31,5/1600У3 (ОАО «Уралэлектротяжмаш», фил. «Энергомаш» г. Екатеринбург)	10	1600	31,5	80	31,5 / 3
ВВЭ -10 -20	10	630	20	52	31,5 / 3
ВВЭ – 10 -31,5	10	1000	31,5	80	31,5/3
ВВЭ – 10 -31,5	10	1600	31,5	80	31,5/3
ВНЕ -10	10	630	16	20	31,5/3
ВБ4-П-10/20-630-У2 (СООО «Электротехническая компания «Ампербел» г. Минск	10	630	20	50	20/3
ВБ4-П-10/20-630-У2 (СООО «Электротехническая компания «Ампербел» г. Минск	10	1250	31,5	80	31,5/3
ВБУЭ(П)-10-20/1000 У2 (Электроцит, г. Самара)	10	1000	20	52	20/3
ВБУЭ(П)-10-20/1000 У2 (Электроцит, г. Самара)	10	1600	20	52	20/3
ВБУП(Э)2-10	10	630	20	52	20/3
ВБУП(Э)2-10	10	1000	20	52	20/3
ВБУП(Э)2-10	10	1600	31,5	80	31,5/3
ВР35НС (ЗАО «Высоковольтный союз, Украина)	35	1600	20	52	20 / 3

Тип выключателя	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Номинальный ток отключения, кА	Амплитуда сквозного тока, кА	Ток и время термической стойкости, кА/с
ВБНК-35 (ЗАО «Высоковольтный союз, Украина)	35	1600	25	64	25 / 3
ВБЦ-35 (ЗАО «Высоковольтный союз, Украина)	35	1250	20	80	20 / 3
ВБЦ-35 (ЗАО «Высоковольтный союз, Украина)	35	1600	20	80	20 / 3
ВБУ-35-1600/5 (ЗАО «Высоковольтный союз, Украина)	35	1600	5	80	20 / 3
ВВСБ-35	35	630	50	50	25/3
ВВСБ-35	35	1000	50	50	25/3
ВВСБ-35	35	1600	50	50	25/3
ВБНТ-35	35	630	20	50	20/3
ВБЭ-110	110	1250	20	50	20/3
ВБЭ-110	110	1600	20	50	20/3

Таблица 2.7

## Технические характеристики выключателей нагрузки

Тип выключателя	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Номинальный ток отключения / наибольший ток отключения, А	Предельный сквозной ток, кА (амплитуда / действующее значение)	Ток и время термической стойкости, кА/с
ВНР -10/400-10 <sub>3</sub> УЗ	10	400	400/800	25/10	10/1
ВНА-10/630-20У2 (Электроцит, г. Самара)	10	630	630/-	20/-	-/-
ВНР <sub>п</sub> -10/400-10 <sub>3</sub> УЗ	10	400	400/800	25/10	10/1
ВНР <sub>п</sub> -10/400-10 <sub>3</sub> ЗУЗ	10	400	400/800	25/10	10/1
ВНР <sub>п</sub> -10/400-10 <sub>3п</sub> УЗ	10	400	400/800	25/10	10/1
ВНР <sub>п</sub> -10/400-10 <sub>3п</sub> ЗУЗ	10	400	400/800	25/10	10/1
ВНП <sub>у</sub> -10/400-10 <sub>3</sub> УЗ	10	400	400/800	25/10	10/1
ВНП <sub>у</sub> -10/400-10 <sub>3п</sub> УЗ	10	400	400/800	25/10	10/1
ВНП <sub>уП</sub> -10/400-10 <sub>3п</sub> ЗУЗ	10	400	400/800	25/10	10/1
КАГ -24-30/30000УЗ	24	30000	30000/-	500	150/1

В обозначении: В – выключатель;

Н – нагрузки;

Р – с ручным приводом;

П – с пружинным приводом;

п – конструктивное исполнение (со встроенным предохранителем),

у – с усиленной контактной системой;

К – устройство комплектное,

АГ – конструктивное исполнение;

з – с заземляющими ножами;

зп – заземляющие ножи расположены за предохранителем;

З – наличие устройства для подачи команды на отключение при перегорании предохранителя.

## 2.2. Разъединители

Разъединители применяются для коммутации элементов цепи при отсутствии тока и создания видимого разрыва электрической цепи. Сначала ток отключается выключателем, потом цепь отсоединяется разъединителем.

Разъединители могут отключать небольшой ток холостого хода трансформаторов и линий электропередачи. Это позволяет выводить оборудование для ревизии и ремонта.

Различают разъединители *внутренней и наружной установки*.

Входящие в обозначение буквы обозначают: Р – разъединитель, В – внутренней установки, О – однополюсный, Ф – фигурный токопровод, З – наличие ножей заземления, Л – наличие линейного контакта, Д – двухколонковая конструкция. Разъединители наружной установки выделяются буквой Н в обозначении.

Разъединители выпускаются на номинальные токи от 400 до 2000 А внутренней установки и от 200 до 5000 А наружной.

Технические данные разъединителей внутренней установки приведены в таблице 2.8, наружной – в таблице 2.9.

Таблица 2.8

## Технические характеристики разъединителей внутренней установки

Тип	Предельный сквозной ток короткого замыкания, кА		4-секундный ток термической стойкости, кА	Масса разъединителя или одного полюса (полюсное исполнение), кг
	амплитуда	действующий		
РВО-6/400	50	29	16	5,9
РВО-6/630	60	35	20	6,3
РВО-6/1000	120	71	40	12,5
РВ-6/400	50	29	16	24
РВ-6/630	60	35	20	27
РВ-6/1000	120	71	40	42
РВЗ-6/400	50	29	16	28
РВЗ-10/630 (Электроцит, г. Самара)	51	-	20/3	47
РВЗ-10/1000 (Электроцит, г. Самара)	51	-	20/3	52
РВФ(З)-10/630У2 (Электроцит, г. Самара)	51	-	20/3	47,5
РВФ-10/1000У2 (Электроцит, г. Самара)	51	-	20/3	47,5
РВО-10/400	50	29	16	5,9
РВО-10/630	60	35	20	6,3
РВО-10/1000	120	71	40	12,5
РВ-10/400	50	29	16	26
РВ-10/630	60	35	20	28
РВ-10/1000	120	71	40	44
РВЗ-1а-10/400 УХЛ2 (г. Великие Луки Псковской области, ЗАО «Завод электротехн. оборудования»)	40	-	16	30
РВЗ-10/630	60	35	20	32
РВЗ-10/1000	81	47	40	48
РВФ-10/400	50	29	16	41
РВФ-10/630	60	35	20	45
РВФ-10/1000	81	47	40	83
РЛВОМ-10/1000	81	47	40	16,19
РВР-III-10/2000	85	-	31,5	82
РВРЗ-III-10/2000 УЗ (г. Великие Луки Псковской области, ЗАО «Завод электротехн. оборудования»)	80	-	31,5	112

Таблица 2.9

## Технические характеристики разъединителей

Тип разъединителя	Амплитуда предельного сквозного тока короткого замыкания, кА	Ток термической стойкости, кА		Масса, кг
		главных ножей (4с)	заземляющих ножей (1с)	
<b>РАЗЪЕДИНИТЕЛИ НАРУЖНОЙ УСТАНОВКИ</b>				
РЛН-6/200	15	5 (10с)	-	12
РЛН-6/400	25	10 (10с)	-	12
РЛН-10/200	15	5 (10с)	-	20
РЛН-10/400	25	10 (10с)	-	20
РЛН-10/600	35	14 (10с)	-	20
РЛНД-10/400-УХЛ1 (Электроцит, г. Самара)	25	10	10	40
РЛНД-10/630-УХЛ1 (Электроцит, г. Самара)	25	10	10	40
РОН-10К/5000	180	31,5	31,5	105
РД-35/400УХЛ1 (г. Великие Луки Псковской обл., ЗАО «Завод электротехнического оборудования»)	31,25	12,5	-	44
РГП-35/1000УХЛ1 (Электроцит, г. Самара)	50	20 (3с)	20	85
РДЗ.1-35/1000НУХЛ1 (г. Великие Луки Псковской обл., ЗАО «Завод электротехнического оборудования»)	40	16	-	50
РНД(3)-35/1000	63	25	25	81
РНД(3)-35/2000	80	31,5	31,5	178
РНД(3)-35/3200	125	50	50	240
РГП-110/1250УХЛ1 (Электроцит, г. Самара)	63	25	-	220
РГП-110/2000УХЛ1 (Электроцит, г. Самара)	100	40	-	235
РНД(3)-110/1000	80	31,5	31,5	225
РНД(3)-110/2000	100	40	40	380
РНД(3)-110/3200	125	50	50	451
РДЗ -110/3150УХЛ1 (г. Великие Луки Псковской обл., ЗАО «Завод электротехнического оборудования»)	100	40	-	166

Тип разъединителя	Амплитуда предельного сквозного тока короткого замыкания, кА	Ток термической стойкости, кА		Масса, кг
		главных ножей (4с)	заземляющих ножей (1с)	
РПД-110/1600 УХЛ1 (ОАО «Уралэлектротяжмаш», фил. «Энергомаш» г. Екатеринбург)	80	40	-	-
РПД-110/2500 УХЛ1 (ОАО «Уралэлектротяжмаш», фил. «Энергомаш» г. Екатеринбург)	80	40	-	-
РНД(3)-150/1000	100	40	40	42
РНД(3)-150/2000	100	40	40	500
РНД(3)-150/3200	12	45	45	505
РДЗ -220Б/1250НТ1 (г. Великие Луки Псковской обл., ЗАО «Завод электротехнического оборудования»)	100	40	-	468
РНД(3)-220/1000	100	40	40	775
РНД(3)-220/2000	100	40	40	866
РНД(3)-220/3200	125	50	50	900
РДЗ -330/3150УХЛ1 (г. Великие Луки Псковской обл., ЗАО «Завод электротехнического оборудования»)	160	63	-	1153
РНД(3)-330/3200	160	63	63	3510
РНД(3)-500/3200	160	63	63	4250
РПД-500/3200	160	63	-	6100
РДЗ -500/3150УХЛ1 (г. Великие Луки Псковской обл., ЗАО «Завод электротехнического оборудования»)	160	63	-	1605
РПД-750/3200	160	63	-	9370
РНВ(3)-750П/4000	-	63	-	8769
РНЗ-1150/4000	100	40	-	13370

В обозначении: Р – разъединитель; О – однополюсный; В – внутренней установки; Н – наружной установки; Л – линейный; Р – рубящего типа; Ф – фигурное исполнение; З – заземляющие ножи; Д – двухколонковый.

### 2.3. Высоковольтные предохранители

*Предохранитель* – устройство, которое путем разрушения одного или нескольких специально предназначенных элементов размыкает цепь, в которую оно включено, отключая ток, когда он превышает заданное значение в течение достаточного времени, предохранитель содержит все детали, которые образуют комплектное устройство. *Высоковольтные предохранители* выпускаются двух типов:

- 1) с кварцевым наполнителем на напряжения 3 ... 35 кВ (серии ПКТ, ПКН);
- 2) выхлопного типа серии ПВТ на напряжения 10 ... 110 кВ.

Предохранители предназначены для защиты электрических цепей переменного тока (серии ПКТ, ПКИ и др.) и трансформаторов напряжения (серии ПКН, ПКТН) на номинальное напряжение 3 ... 35 кВ.

В условном обозначении предохранителя после обозначения серии первая цифра показывает номинальное напряжение  $U_n$  кВ, вторая и третья – пределы значения номинального тока патрона предохранителя  $I_n$  А, последняя цифра – номинальный ток отключения  $I_{откл}$  кА.

При отключении токов большой кратности по отношению к номинальному току плавкой вставки предохранитель работает с токоограничителем.

Основные технические данные предохранителей с кварцевым наполнением, их габаритные размеры и масса приведены в таблице 2.10.

Для наружной установки выпускаются предохранители выхлопного типа ПВТ. Их технические данные приведены в таблице 2.11.

Таблица 2.10

## Технические характеристики кварцевых предохранителей

Типоисполнение предохранителей	$U_n$ , кВ	Пределы изменения $I_n$ , А	$I_{откл}$ , А	Размеры, мм			Масса, кг
				А	Н	В	
ПКТ101-3-2-31,5-40УЗ	3	2...31,5	40	185	100	77	3,4
ПКТ101-6-2-20-40УЗ	6	2...20	40	285	100	77	3,9
ПКТ101-10-2-20-31,5УЗ	10	2...20	31,5	385	120	82	4,9
ПКТ101-20-2-10-12,5УЗ	20	2...20	12,5	505	210	110	11,1
ПКТ101-35-10-3,2УЗ	35	10	3,2	620	372	110	17,4
ПКТ102-3-40-100-40УЗ	3	40...100	40	230	100	84	4,5
ПКТ102-6-31,5-50-31,5УЗ	6	31,5...50	31,5	330	-	-	-
ПКТ102-6-80-20УЗ	6	80	20	330	100	84	5,0
ПКТ102-10-50-12,5УЗ	10	50	12,5	430	120	84	6,3
ПКТ102-20-16-20-12,5УЗ	20	16...20	12,5	552	210	-	12,7
ПКТ102-35-10-20-8УЗ	35	10...20	20	665	372	110	19,0
ПКТ103-3-160-200-40УЗ	3	160...200	40	230	-	84	6,2
ПКТ103-6-80-100-31,5УЗ	6	80...100	31,5	-	100	-	-
ПКТ103-6-160-20УЗ	6	160	20	330	-	84	7,3
ПКТ103-10-80-20УЗ	10	80	20	430	120	84	9,2
ПКТ103-20-31,5-50-12,5УЗ	20	31,5...50	12,5	552	210	110	16,0
ПКТ103-35-31,5-40-8УЗ	35	31,5...40	40	665	372	110	22,9
ПКТ104-3-315-400-40УЗ	3	315...400	40	248	-	184	10,2
ПКТ104-6-160-200-31,5УЗ	6	160...200	31,5	-	100	-	-
ПКТ104-6-316-20УЗ	6	316	20	348	-	184	12,4
ПКТ104-10-160-20УЗ	10	160	20	448	120	184	15,5
ПКТ101-6-2-20-40У1	6	2...20	40	306	170	120	7,7
ПКТ101-10-2-20-20У1	10	2...20	20	406	170	120	8,1
ПКТ101-20-2-10-12,5У1	20	2...10	12,5	512	315	150	21,2
ПКН001-10УЗ	10	-	-	185	120	82	4,2

Типоисполнение предохранителей	$U_n$ , кВ	Пределы изменения $I_n$ , А	$I_{откл}$ , А	Размеры, мм			Масса, кг
				А	Н	В	
ПКН001-20У3	20	-	-	405	210	110	10,8
ПКН001-35У3	35	-	-	620	372	110	17,4
ПКН001-10У1	10	-	-	302	170	120	7,5
ПКН001-20У1	20	-	-	508	315	150	21,0
ПКН001-35У1	35	-	-	724	440	175	40,5

Таблица 2.11

Технические характеристики предохранителей

Тип предохранителя	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Номинальный ток отключения, кА	Масса, кг
<b>ПРЕДОХРАНИТЕЛИ ВЫХЛОПНОГО ТИПА</b>				
ПВТ104-10	10	до 100	5	23
ПВТ104-35	35	до 100	3,2	65,5
ПВТ104-110	110	до 50	2,5	804 (трех полюсов)

### 3. УСТРОЙСТВА ОГРАНИЧЕНИЯ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

**Вентильные разрядники** серии РВО (разрядник вентильный облегченный) и РВС (разрядник вентильный стационарный) служат для защиты от атмосферных перенапряжений. Вентильный разрядник состоит из искровых промежутков и нелинейных резисторов, заключенных в герметично закрытую фарфоровую крышку, которая защищает внутренние элементы разрядника от воздействия внешней среды и обеспечивает стабильность характеристик. Рабочий резистор разрядника изготовлен из "вилита" и обладающего нелинейной вольт-амперной характеристикой. Технические данные разрядников (РВО и РВС) приведены в таблицах 3.1 и 3.2.

**Ограничители перенапряжения нелинейные** в фарфоровых или полимерных крышках выполняются на основе оксидно-цинковых варисторов без искровых промежутков и предназначены для защиты электрооборудования сетей от атмосферных и коммутационных перенапряжений. Технические данные ОПН приведены в таблицах 3.3.

Таблица 3.1

## Технические характеристики разрядников РВО

Тип	Класс напряжения разрядника, кВ	Номинальное напряжение разрядника, кВ	Пробивное напряжение при частоте 50 Гц в сухом состоянии и под дождем (действующее значение), кВ		Импульсивное напряжение при предразрядном времени от 2 до 20 мкс, кВ, не более	Остающееся напряжение, кВ, при импульсивном токе длиной фронта волны 8 мкс и амплитудой, А	
			не менее	не более		3000	5000
РВО-3У1	3	3,8	9	11	20	13	14
РВО-6Н	6	7,5	16	19	32	25	27
РВО-10Н	10	12,7	26	30,5	48	43	45

Таблица 3.2

## Технические характеристики разрядников РВС

Тип	Класс напряжения разрядника, кВ	Номинальное напряжение разрядника, кВ	Пробивное напряжение при частоте 50 Гц в сухом состоянии и под дождем (действующее значение), кВ		Импульсивное напряжение при предразрядном времени от 8 до 20 мкс, кВ, не более	Остающееся напряжение, кВ, при импульсивном токе длиной фронта волны 8 мкс и амплитудой, А		
			не менее	не более		3000	5000	10000
РВС-13,8Т1	13,8	17	34	42	61	51	55	60
РВС-15 РВС-15Т1	15	18	38	48	67	57	61	67
РВС-20 РВС-21	20	24	49	60,5	80	75	80	88
РВС-22Т1	22	20	40	50	70	60	65	73
РВС-33Т1	33	29	58	70	94	88	94	102

PBC-35	35	40,5	78	98	125	122	130	143
PBC-60 PBC-66T1	60	65,5	134	169	215	207	221	243
PBC-60 PBC-66T1	66	58	116	140	188	176	188	204
PBC-66	66	72	150	182	232	226	242	264
PBC-110M PBC-110MT	110	102	200	250	285	315	335	367
PBC-132MT1	132	119,7	232	267	376	378	404	444
PBC-150M1 PBC-150MT1	150	138	208	250	375	435	465	510
PBC-220M PBC-220MT1	220	198	400	500	530	630	670	734
PBC-230MT1	230	204,5	400	500	530	630	679	734

Таблица 3.3

**Технические характеристики ОПН -6-110 кВ**

<b>Тип</b>	<b>Номинальное напряжение, кВ</b>	<b>Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, кВ, действующее</b>	<b>Остающееся на ОПН напряжение, кВ, при коммутационном импульсе тока с амплитудой- 300-500А</b>	<b>Остающееся на ОПН напряжение, кВ, а при грозовом импульсе тока 8/20 мкс с амплитудой 5000А</b>
ОПН - 6 УХЛ1	6	6,0; 6,6; 6,9; 7,2; 7,6	11,4-21,8	21
ОПНп - 6 УХЛ1	6	6,0; 6,6; 6,9; 7,2; 7,6	11,4-21,8	21
ОПН - 10 УХЛ1	10	10,5;11; 11,5; 12,0; 12,7; 13,7	27,7-36,9	30,4-46
ОПНп -10 УХЛ1	10	10,5;11; 11,5; 12,0; 12,7; 13,7	27,7-36,9	30,4-46
ОПН-35 УХЛ1	35	40,5; 45,0	105,0	120
ОПНп-35 УХЛ1	35	40,5; 45,0	105,0	120
ОПН-110-УХЛ-1	110	56; 60; 73; 77; 84; 88; 100	180	222
ОПНп-110-УХЛ-1	110	56; 60; 73; 77; 84; 88; 100	180	222

Таблица 3.4

## Технические характеристики ОПН 220, 330 кВ

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, кВ, действующее	Остающееся на ОПН напряжение, кВ, при коммутационном импульсе тока 30/60 мкс с амплитудой			Остающееся на ОПН напряжение, кВ, а при грозовом импульсе тока 8/20 мкс с амплитудой		
			250 А	1000 А	2000 А	500 А	5000 А	1 0000 А
ОПН-220/146-10/650(II)	220	146	369	401	24	382	468	508
ОПН-220/157-10/650(II)	220	157	398	432	458	412	505	547
ОПН-220/176-10/650(II)	220	176	448	486	514	464	567	615
ОПН-220/146-10/900(III)	220	146	361	378	395	372	431	464
ОПН-220/157-10/900(III)	220	157	384	402	419	395	457	493
ОПН-220/176-10/650(III)	220	176	431	452	470	444	514	554
ОПН-220/146-20/1600(IV)	220	146	347	368	383	362	412	436
ОПН-220/157-20/1600(IV)	220	157	368	391	407	385	438	464
ОПН-220/176-20/1600(IV)	220	176	414	440	458	432	493	521
ОПН-330/210-10/900(III)	330	210	527	551	575	543	628	676
ОПН-330/220-10/900(III)	330	220	552	578	604	569	658	709
ОПН-330/230-10/900(III)	330	230	577	604	630	595	688	741
ОПН-330/210-20/1600(IV)	330	210	510	542	564	533	607	642
ОПН-330/220-20/1600(IV)	330	220	535	568	591	559	636	673
ОПН-330/230-20/1600(IV)	330	230	559	594	618	584	666	704
ОПН-330/210-20/2500(V)	330	210	486	517	537	508	568	596
ОПН-330/220-20/2500(V)	330	220	510	542	563	533	595	625
ОПН-330/230-20/2500(V)	330	230	533	567	589	557	622	654

## 4. РЕАКТОРЫ

**Реактор** – это статическое электромагнитное устройство, предназначенное для использования его индуктивности в электрической цепи для тех или иных целей. В зависимости от выполняемых функций различают: токоограничивающие реакторы; шунтирующие реакторы; фильтровые (сглаживающие) реакторы; коммутирующие реакторы; заземляющие реакторы. Реакторы могут иметь однофазное или трехфазное исполнение.

**Токоограничивающие реакторы** служат для ограничения тока короткого замыкания, что дает возможность ограничить номинальный ток отключения линейных выключателей и обеспечить термическую устойчивость отходящих кабелей. В номинальном режиме ток цепи определяется сопротивлением нагрузки и падение напряжения на реакторе составляет 3 ... 10 % от номинального.

**Шунтирующие реакторы** широко применяются в сетях сверхвысокого напряжения и включаются между токоведущими элементами и землей. Они предназначены для компенсации зарядной мощности в режиме малых нагрузок. При номинальной нагрузке линии такие реакторы отключаются.

**Фильтровые (сглаживающие) реакторы**, входящие в состав фильтров низких частот служат для уменьшения содержания высших гармоник в кривой тока, потребляемого преобразователем от сети переменного тока или отдаваемого преобразователем в сеть. К фильтровым относятся реакторы, включаемые в цепь постоянного тока преобразователей с целью его сглаживания.

**Заземляющие реакторы** с плавной регулировкой индуктивности используются для компенсации емкостных токов короткого замыкания на землю.

Ниже приведены буквенные обозначения некоторых типов реакторов и их смысл:

РБ – бетонные реакторы одинарные;

РБС – бетонные реакторы сдвоенные;

ФРОС – фильтровый реактор, однофазный, сухой, с естественным воздушным охлаждением.

СРОМ – сглаживающий однофазный с естественным масляным охлаждением;

СРОС – сглаживающий однофазный реактор сухого исполнения;

РТСТ – трехфазный токоограничивающий сухого исполнения, предназначен для ограничения токов в схемах тиристорных преобразователей;

РЗДСОМ – реактор заземляющий, дугогасящий с плавным регулированием, однофазный, масляный;

ЕРОМ и ЕРОС применяются в цепях заряда емкости.

Технические данные реакторов приведены в таблицах 4.1 – 4.2.

Таблица 4.1

## Технические характеристики одинарных реакторов

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Длительно-допустимый ток, А	Номинальное индуктивное сопротивление, Ом	Ток электродинамической стойкости, кА	Ток термической стойкости, кА	Допустимое время действия тока термической стойкости, с
<b>РЕАКТОРЫ ДЛЯ ВНУТРЕННЕЙ УСТАНОВКИ</b>						
РБ 10-400-0,35У3	10	400	0,35	25	9,83	8
РБУ 10-400-0,35У3	10	400	0,35	25	9,83	8
РБГ 10-400-0,45У3	10	400	0,45	25	9,83	8
РБ 10-400-0,45У3	10	400	0,45	25	9,83	8
РБУ 10-400-0,45У3	10	400	0,45	25	9,83	8
РБГ 10-400-0,45У3	10	400	0,45	25	9,83	8
РБ 10-630-0,25У3	10	630	0,25	40	15,75	8
РБУ 10-630-0,25У3	10	630	0,25	40	15,75	8
РБГ 10-630-0,25У3	10	630	0,25	40	15,75	8
РБ 10-630-0,40У3	10	630	0,40	32	12,6	8
РБУ 10-630-0,40У3	10	630	0,40	32	12,6	8
РБГ 10-630-0,40У3	10	630	0,40	33	13	8
РБ 10-630-0,56У3	10	630	0,56	24	9,45	8
РБУ 10-630-0,56У3	10	630	0,56	24	9,45	8
РБГ 10-630-0,56У3	10	630	0,56	24	9,45	8
РБ 10-630-0,70У3	10	630	0,70	24	9,45	8
РБ 10-630-1,00У3	10	630	1,00	24	9,45	8
РБ 10-630-1,60У3	10	630	1,60	24	9,45	8
РБ 10-630-2,00У3	10	630	2,00	24	9,45	8
РБ 10-1000-0,14У3	10	1000	0,14	63	24,8	8
РБУ 10-1000-0,14У3	10	1000	0,14	63	24,8	8
РБГ 10-1000-0,14У3	10	1000	0,14	63	24,8	8
РБ 10-1000-0,22У3	10	1000	0,22	49	19,3	8

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Длительно-допустимый ток, А	Номинальное индуктивное сопротивление, Ом	Ток электродинамической стойкости, кА	Ток термической стойкости, кА	Допустимое время действия тока термической стойкости, с
РБУ 10-1000-0,22У3	10	1000	0,22	49	19,3	8
РБГ 10-1000-0,22У3	10	1000	0,22	55	25,6	8
РБ 10-1000-0,28У3	10	1000	0,28	45	17,75	8
РБУ 10-1000-0,28У3	10	1000	0,28	45	17,75	8
РБГ 10-1000-0,28У3	10	1000	0,28	45	17,75	8
РБ 10-1000-0,35У3	10	1000	0,35	37	14,6	8
РБУ 10-1000-0,35У3	10	1000	0,35	37	14,6	8
РБГ 10-1000-0,35У3	10	1000	0,35	37	14,6	8
РБ 10-1000-0,45У3	10	1000	0,45	29	11,4	8
РБУ 10-1000-0,45У3	10	1000	0,45	29	11,4	8
РБГ 10-1000-0,45У3	10	1000	0,45	29	11,4	8
РБ 10-1000-0,56У3	10	1000	0,56	24	9,45	8
РБУ 10-1000-0,56У3	10	1000	0,56	24	9,45	8
РБГ 10-1000-0,56У3	10	1000	0,56	24	9,45	8
РБ 10-1000-0,70У3	10	1000	0,70	24	9,45	8
РБ 10-1000-1,00У3	10	1000	1,00	24	9,45	8
РБ 10-1600-0,14У3	10	1600	0,14	66	26	8
РБУ 10-1600-0,14У3	10	1600	0,14	66	26	8
РБГ 10-1600-0,14У3	10	1600	0,14	66	26	8
РБ 10-1600-0,20У3	10	1600	0,14	79	31,1	8
РБУ 10-1600-0,20У3	10	1600	0,20	52	20,5	8
РБГ 10-1600-0,20У3	10	1600	0,20	52	20,5	8
РБ 10-1600-0,20У3	10	1600	0,20	60	23,6	8
РБ 10-1600-0,25У3	10	1600	0,25	49	19,3	8
РБУ 10-1600-0,25У3	10	1600	0,25	49	19,3	8
РБГ 10-1600-0,25У3	10	1600	0,25	49	19,3	8

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Длительно-допустимый ток, А	Номинальное индуктивное сопротивление, Ом	Ток электродинамической стойкости, кА	Ток термической стойкости, кА	Допустимое время действия тока термической стойкости, с
РБ 10-1600-0,35У3	10	1600	0,35	37	14,6	8
РБУ 10-1600-0,35У3	10	1600	0,35	37	14,6	8
РБГ 10-1600-0,35У3	10	1600	0,35	37	14,6	8
РБ 10-1600-0,56У3	10	1600	0,56	37	14,6	8
РБД 10-2500-0,14У3	10	2500	0,14	66	26	8
РБДУ 10-2500-0,14У3	10	2500	0,14	66	26	8
РБГ 10-2500-0,14У3	10	2500	0,14	79	31,1	8
РБД 10-2500-0,20У3	10	2500	0,20	52	20,5	8
РБДУ 10-2500-0,20У3	10	2500	0,20	52	20,5	8
РБГ 10-2500-0,20У3	10	2500	0,20	60	23,6	8
РБДГ 10-2500-0,25У3	10	2500	0,25	49	19,3	8
РБДГ 10-2500-0,35У3	10	2500	0,35	37	14,6	8
РБДГ 10-4000-0,105У3	10	4000	0,105	97	38,2	8
РБДГ 10-4000-0,18У3	10	4000	0,18	65	25,6	8
<b>РЕАКТОРЫ НАРУЖНОЙ УСТАНОВКИ</b>						
РБНГ 10-1000-0,45	10	1000	0,45	29	11,4	8
РБНГ 10-1000-0,56	10	1000	0,56	24	9,45	8
РБНГ 10-1600-0,25	10	1600	0,25	49	19,3	8
РБНГ 10-1600-0,35	10	1600	0,35	37	14,6	8
РБНГ 10-2500-0,14	10	2500	0,14	79	31,1	8
РБНГ 10-2500-0,20	10	2500	0,20	60	23,6	8
РБНГ 10-2500-0,25	10	2500	0,25	49	19,3	8
РБНГ 10-2500-0,35	10	2500	0,35	37	14,6	8

Таблица 4.2

## Технические характеристики двоянных реакторов

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Длительно-допустимый ток, А	Номинальное индуктивное сопротивление, Ом	Коэффициент связи	Потери на фазу, кВт	Ток электродинамической стойкости, кА	Ток термической стойкости, кА	Допустимое время действия тока термической стойкости, с
<b>РЕАКТОРЫ ДЛЯ ВНУТРЕННЕЙ УСТАНОВКИ</b>								
РБС 10-2×630-0,25У3	10	2×630	0,25	0,46	4,8	40	15,75	8
РБСУ 10-2×630-0,25У3	10	2×630	0,25	0,46	4,8	40	15,75	8
РБСГ 10-2×630-0,25У3	10	2×630	0,25	0,46	4,8	40	15,75	8
РБС 10-2×630-0,40У3	10	2×630	0,40	0,5	6,3	32	12,6	8
РБСУ 10-2×630-0,40У3	10	2×630	0,40	0,5	6,3	32	12,6	8
РБСГ 10-2×630-0,40У3	10	2×630	0,40	0,5	6,3	33	13	8
РБС 10-2×630-0,56У3	10	2×630	0,56	0,53	7,8	24	9,45	8
РБСУ 10-2×630-0,56У3	10	2×630	0,56	0,53	7,8	24	9,45	8
РБСГ 10-2×630-0,56У3	10	2×630	0,56	0,53	7,8	63	9,45	8
РБС 10-2×1000-0,14У3	10	2×1000	0,14	0,49	6,4	63	24,8	8
РБСУ 10-2×1000-0,14У3	10	2×1000	0,14	0,49	6,4	63	24,8	8
РБСГ 10-2×1000-0,14У3	10	2×1000	0,14	0,49	6,4	49	24,8	8
РБС 10-2×1000-0,22У3	10	2×1000	0,22	0,53	6,4	49	19,3	8
РБСУ 10-2×1000-0,22У3	10	2×1000	0,22	0,53	8,4	55	19,3	8
РБСГ 10-2×1000-0,22У3	10	2×1000	0,22	0,53	8,4	55	21,65	8
РБС 10-2×1000-0,28У3	10	2×1000	0,28	0,53	10	45	17,75	8
РБСУ 10-2×1000-0,28У3	10	2×1000	0,28	0,53	10	45	17,75	8
РБСГ 10-2×1000-0,28У3	10	2×1000	0,28	0,53	10	45	17,75	8
РБСД 10-2×1000-0,35У3	10	2×1000	0,35	0,55	11,5	37	14,6	8
РБСДУ 10-2×1000-0,35У3	10	2×1000	0,35	0,55	11,5	37	14,6	8
РБСГ 10-2×1000-0,35У3	10	2×1000	0,35	0,55	11,5	37	14,6	8
РБСД 10-2×1000-0,45У3	10	2×1000	0,45	0,55	13,1	29	11,4	8
РБСДУ 10-2×1000-0,45У3	10	2×1000	0,45	0,49	13,1	29	11,4	8
РБСГ 10-2×1000-0,45У3	10	2×1000	0,45	0,49	13,1	29	11,4	8
РБСД 10-2×1000-0,56У3	10	2×1000	0,56	0,5	15,7	24	9,45	8
РБСДУ 10-2×1000-0,56У3	10	2×1000	0,56	0,5	15,7	24	9,45	8

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Длиительно-допустимый ток, А	Номинальное индуктивное сопротивление, Ом	Коэффициент связи	Потери на фазу, кВт	Ток электродинамической стойкости, кА	Ток термической стойкости, кА	Допустимое время действия тока термической стойкости, с
РБСГ 10-2×1000-0,56У3	10	2×1000	0,56	0,5	15,7	24	9,45	8
РБС 10-2×1600-0,14У3	10	2×1600	0,14	0,56	11,5	66	26	8
РБСУ 10-2×1600-0,14У3	10	2×1600	0,14	0,56	11,5	66	26	8
РБСГ 10-2×1600-0,14У3	10	2×1600	0,14	0,56	11,5	79	31,1	8
РБСД 10-2×1600-0,2У3	10	2×1600	0,2	0,51	14,3	52	20,5	8
РБСДУ 10-2×1600-0,2У3	10	2×1600	0,2	0,51	14,3	52	20,5	8
РБСГ 10-2×1600-0,2У3	10	2×1600	0,2	0,51	14,3	60	23,6	8
РБСД 10-2×1600-0,25У3	10	2×1600	0,25	0,52	16,7	49	19,3	8
РБСДУ 10-2×1600-0,25У3	10	2×1600	0,25	0,52	16,7	49	19,3	8
РБСДГ 10-2×1600-0,25У3	10	2×1600	0,25	0,52	16,7	49	19,3	8
РБСДГ 10-2×1600-0,35У3	10	2×1600	0,35	0,46	22,0	37	14,6	8
РБСДГ 10-2×2500-0,14У3	10	2×2500	0,14	0,52	22,5	79	31,1	8
РБСДГ 10-2×2500-0,2У3	10	2×2500	0,2	0,46	32,1	60	23,6	8
РБСДГ 10-2×2500-0,25У3	10	2×2500	0,25	0,46	32,1	60	23,6	8
РБСДГ 10-2×2500-0,35У3	10	2×2500	0,35	0,46	32,1	60	23,6	8
<b>РЕАКТОРЫ НАРУЖНОЙ УСТАНОВКИ</b>								
РБСНГ 10-2×1000-0,45	10	2×1000	0,45	0,44	15,4	29	11,4	8
РБСНГ 10-2×1000-0,56	10	2×1000	0,56	0,41	17,5	24	9,45	8
РБСНГ 10-2×1600-0,25	10	2×1600	0,25	0,51	22,1	49	19,3	8
РБСНГ 10-2×2500-0,14	10	2×2500	0,14	0,60	29,3	79	31,1	8

В условном обозначении буква *P* указывает на то, что это реактор. Реакторы с принудительным охлаждением обозначаются буквой *D* в маркировке типа реактора, *M* – масляный, *ДЦ* – масляное охлаждение с дутьем и принудительной циркуляцией масла. Способы монтажа трехфазного комплекта обозначаются буквами: *B* – вертикальная; *Г* – горизонтальная установка фаз; *У* – ступенчатая установка фаз. Отсутствие этих букв означает, что реактор предназначен для вертикальной установки фаз. *O* – однофазный, *T* – трехфазный. В цифровом обозначении первое число – номинальное напряжение, кВ; второе – номинальный ток, А; третье – номинальное индуктивное сопротивление, Ом.

## 5. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

### 5.1. Трансформаторы тока

Трансформаторы тока (ТТ) предназначены для измерения тока в установках высокого напряжения и изоляции измерительных приборов и устройств релейной защиты от высокого напряжения. Первичный ток проходит через первичную обмотку, вторичная обмотка подключается, к измерительным приборам и реле либо замыкается накоротко. Первичная обмотка изолирована от вторичной в соответствии с классом изоляции аппарата (на полное напряжение). Класс точности трансформаторов тока определяется токовой, угловой и полной погрешностями.

*Вторичная нагрузка* ТТ – это полное сопротивление вторичной цепи  $Z_2$  в Омах при данном коэффициенте мощности  $\cos\varphi_2$ . Номинальной считают такую нагрузку, которая при  $\cos\varphi_2 = 0,8$  обеспечивает установленный для ТТ класс точности.

Технические характеристики трансформаторов тока приведены в таблицах 5.1 ... 5.3.

Таблица 5.1

## Технические характеристики трансформаторов тока внутренней установки напряжением 0,66...35 кВ

Тип трансформатора	Варианты исполнения	Номинальный первичный ток, А	Трехсекундная термическая стойкость или кратность	Электродинамическая стойкость или кратность	Номинальная вторичная нагрузка, В·А		Номинальная предельная кратность защитной обмотки	Масса, кг
					измерительной обмотки	защитной обмотки		
ТЛМ-6	1/10P 0,5/10P	300; 400; 600; 800; 1000; 1500	33*	125*	10	15	20	27
ТОЛК-6	1;10p	50	40	340	30	30	5,5	11,3
		80	40	340	30	30		
		100; 150; 200	4,6*	26*	30	30		
		300; 400; 600	11*	-	-	-		
ТВЛМ-6	1;10P	10; 20; 30; 50; 75; 100	20	350	15	15	4,5	4,5
		150; 200; 300; 400	20	52*				
ТПЛ-10	10P	30; 50; 75; 100; 150	45	250	10	15	13	10...19
	0,5/10P	200		-				
	10/10P	300		175				
	10/10P	400		165				
ТПЛУ-10	10P; 0,5/10P; 10P/10P	30; 50; 75; 100	60	250	10	15	13	10...19
ТПОЛ-10	0,5/10P	600; 800	32	81	10	15	19...23	18
		1000	27	69			20	
		1500	18	45			25	
ТЛ-10	0,5/10P	50; 100; 150...200; 400	50	51*	10	15	15	47
		600; 800	50	128*			17	
		1000	40	128*			17	
		1500; 2000; 3000	40*	128*			15; 20; 15	
ТЛМ-10	0,5/10P	50; 100; 150	50	350	10	15	15	27
		200	50	260				

Тип трансформатора	Варианты исполнения	Номинальный первичный ток, А	Трехсекундная термическая стойкость или кратность	Электродинамическая стойкость или кратность	Номинальная вторичная нагрузка, В·А		Номинальная предельная кратность защитной обмотки	Масса, кг
					измерительной обмотки	защитной обмотки		
		300; 400	18,4	100*				
		600; 800	23*26*	100*				
		1000; 1500		100*				
ТОЛ-10	0,5/10P, 10/10P	50	50	350	10	15	10	25
		100; 150; 200	50	52				
		300; 400	18,4*	100*				
		600; 800	23*	100*				
		1000; 1500	36*	100*				
ТПЛК-10	0,5/10P, 10/10P	10; 15; 30; 60; 100	47	250	10	15	12	47
		150; 200; 300; 400		74,5*			17	
		600; 800		74,5*			20	
		1000; 1500		74,5*			20	
ТШЛ-10	0,5/10P/ 10P/10P/	2000; 3000; 4000; 5000	35	-	20	30	25	49
ТШЛ-10	0,5/10P	2000;3000	42*	81	20	30	-	26
ТВШ-15	0,2/10P	6000;8000	20	-	30	30	15	50...93
ТШЛО-20	10P	400	19	200	-	20	15	23
ТШ-20	0,2;10P	8000;10000;12000	160	-	30	30	9	41...49
ТШ-24	0,2;10P	20000	-	-	100	100	8	105
ТШВ-24	0,2;10P	24000;30000	6	-	100	100	5;6	106; 115
ТВГ-24	0,5/10P/10P 10P/10P	6000	-	-	30	30	6	-
		10000; 12000;15000	-	-	30	30	6	-
ТПОЛ-20	1/10P; 10P/10P; 0,5/10P; 10P/10P	400	40	100*	20	15	13	43
		600					18	
		800; 1000		24				
		1500		26				

Тип трансформатора	Варианты исполнения	Номинальный первичный ток, А	Трехсекундная термическая стойкость или кратность	Электродинамическая стойкость или кратность	Номинальная вторичная нагрузка, В·А		Номинальная предельная кратность защитной обмотки	Масса, кг
					измерительной обмотки	защитной обмотки		
ТПОЛ-35	1/10P; 0,5/10P, 10P/10P	400	40	100*	20	15	13	55
		600				20	18	
		800; 1000				30; 50	24	
		1500	50			26		
ТЛЛ-35	5; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 75; 100; 200; 300; 400; 600; 800; 1000; 1500; 2000; 3000	4	10	15	-	-	-	86

\* Термическая и электродинамическая стойкости приведены в килоамперах.

\* ТТ<sub>1</sub> исполнение которых обозначено дробью (например 1/10P), имеют один трансформатор класса 1 и второй класса 10P

Таблица 5.2

## Технические характеристики трансформаторов тока наружной установки 35 ... 500 кВ

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный первичный ток, А	Число вторичных обмоток	Номинальный вторичный ток, А	Номинальная вторичная нагрузка с $\cos\varphi = 0,8$ , В·А, для классов точности				Масса, кг	Отводы / основание / высота, мм
					0,2	0,5	5Р	10Р		
<b>ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА НАРУЖНОЙ УСТАНОВКИ НА НАПРЯЖЕНИЯ 35 ... 110 кВ</b>										
ТФМ-35- II -У1	35	15; 30; 50; 100	3	5	-	30	20	20	170	470/380×395/1145
		200; 300; 400; 500; 600								680/380×395/1145
		750; 1000								960/380×395/1145
		1200; 1500								1060/380×395/1145
		2000							1140/380×395/1145	
		3000							1350/380×395/1145	
ДТФ-35- II -У1*	35	2×100	3	2×2,5	20			170	470/380×395/1210	
<b>ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА НАРУЖНОЙ УСТАНОВКИ НА НАПРЯЖЕНИЯ 110...500 кВ</b>										
ТРГ-110 (ОАО «Уралэлектротяжмаш», фил. «Энергомаш» г. Екатеринбург)	110	50...2000	До 5	1; 5	-	-	-	-	-	-
ТФМ-110-II-2У1 (ХЛ1, Т1)	110	2×(300; 400; 500; 600) 2×(750; 1000)	До 5	1; 5	30	30	20	30	440 480	350×350/2460 350×350/2650
ТФМ-110-II-3У1 (ХЛ1, Т1)	110	4×(300; 400; 500) 3000;4000	До 5	1; 5	30	30	20	30	450	400×400/3950
ТФМ-220-II-1У1 (ХЛ1, Т1)	220	2×(300;400;500;600) 2×(750;1000)	До 5	1; 5	30	30	20	30	880	500×500/3850
ТФМ-220-II-2У1 (ХЛ1, Т1)	220	4×(300; 400; 500) 3000; 4000	До 5	1; 5	30	30	20	30	850	520×520/3950

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный первичный ток, А	Число вторичных обмоток	Номинальный вторичный ток, А	Номинальная вторичная нагрузка с $\cos\varphi = 0,8$ , В·А, для классов точности				Масса, кг	Отводы / основание / высота, мм
					0,2	0,5	5Р	10Р		
ТФМ-330-II-1У1 (ХЛ1, Т1)	330	2×(300;400;500;600) (750;1000)	До 5	1; 5	30	30	20	30	1150	500×500/4550
ТФМ-330-II-2У1 (ХЛ1, Т1)	330	4×(300;400;500) 3000;4000	До 5	1; 5	30	30	20	30	1100	650×650/4725
ТФМ-500-II-1У1 (ХЛ1, Т1)	500	2×(500;750;1000)	До 5	1; 5	30	30	20	30	1900	600×600/5820
ТФМ-500-II-2У1 (ХЛ1, Т1)	500	4×(500; 750;1000) 3000;4000	До 5	1; 5	30	30	20	30	1500	600×600/5820

\* Термическая и электродинамическая стойкости приведены в килоамперах.

Таблица 5.3

## Технические характеристики встроенных трансформаторов тока

Тип трансформатора	Варианты исполнения	Номинальный первичный ток, А	Трехсекундная термическая стойкость или кратность	Номинальная вторичная нагрузка, В.А		Номинальная предельная кратность защитной обмотки	Масса, кг
				измерительной обмотки	защитной обмотки		
ТВ-10	0,5	6000	40	-	20	3	14
ТВТ-10	0,5	5000; 6000; 12000	28	-	30	10; 12; 24	15; 16; 78
ТВ-35	0,5; 1; 10Р	200; 300; 600; 1500; 2000; 3000	8...200	10...40	10...40	2...30	15...35
ТВТ-35	0,5; 1; 10Р	200; 3000; 600; 1000; 3000; 4000	28	10...40	15...40	5...24	16...80
ТВ-110	0,5; 1; 10Р	200; 300; 600; 1000; 2000	20...1258	10...50	10...60	5...50	96...103
ТВТ-110	1; 10Р	300; 600; 1000; 2000	25	30...50	10...50	12...24	42...122
ТВТ-150	0,5; 1; 10Р	600; 1000; 2000	25	10...60	10...40	22	212...220
ТВ-220	0,5; 1; 10Р	600; 1000; 2000; 3000	63...2508	10...100	10...50	10...50	143...157
ТВТ-220	0,5; 1; 10Р	600; 1000; 2000; 4000	25	30...100	30...60	24	145...155
ТВТ-500	1; 10Р	200; 750; 1500; 2000	14...20	20...100	20...100	10...25	108...217
ТВТ-750	0,5; 1; 10Р	2000; 3000	14	20...100	20...100	10...20	100; 117
ТВТ-1150	1; 10Р	4000	15	40	40	10	237

Примечание: ТВ - трансформаторы тока встроенные в выключатель;  
ТВТ - трансформаторы тока встроенные в силовой трансформатор.

## 5.2. Трансформаторы напряжения

Трансформатор напряжения (ТН) предназначен для преобразования высокого напряжения в низкое напряжение стандартного значения (обычно 100 или  $100/\sqrt{3}$  В), удобное для измерения, а также для разделения измерительных цепей и цепей релейной защиты от цепей высокого напряжения. Первичная обмотка ТН изолируется от вторичной соответственно классу напряжения. Для безопасности обслуживания приборов один конец вторичной обмотки заземляется.

*Допустимая погрешность* ТН по напряжению в процентах при номинальных условиях численно равна классу точности.

*Классы точности ТН:*

0,5 (погрешность по напряжению 0,5 %, угловая 20 мин);

1 (погрешность по напряжению 1 %, угловая 40 мин);

3 (погрешность по напряжению 3 %, угловая не нормирована).

*Номинальная мощность ТН* – наибольшее значение вторичной мощности при  $\cos\varphi_2 = 0,8$ , при которой погрешность ТН не выходит за пределы, определенные классом точности. Сечение проводников, соединяющих ТН и приборы, выбирается таким, чтобы падение напряжения на них не превышало 0,5 % номинального напряжения вторичной обмотки. Для обеспечения механической прочности сечение медного кабеля должно быть не менее  $1,5 \text{ мм}^2$ , алюминиевого –  $2,5 \text{ мм}^2$ . Медный кабель используется в установках с номинальным напряжением 220 кВ и более.

В условном обозначении буква Н указывает на то, что это трансформатор напряжения. Ниже приведены буквенные обозначения некоторых типов ТН и их смысл:

ЗНОЛ – однофазный ТН, с литой изоляцией; один вывод первичной обмотки изолирован, второй заземлен.

ЗНОГ – однофазный, с газовой изоляцией; один вывод первичной обмотки заземлен, второй изолирован.

НТМИ – трехфазный ТН, с естественным масляным охлаждением, с обмоткой для контроля изоляции сети.

НОЛ – однофазный ТН, с литой изоляцией; оба вывода первичной обмотки изолированы.

НОМ – однофазный, с естественным масляным охлаждением; оба вывода первичной обмотки изолированы.

НОС – однофазный сухого исполнения.

НТС – трехфазный сухого исполнения.

НКФ – каскадный, залитый трансформаторным маслом, в фарфоровой крышке.

НДЕ – емкостный делитель напряжения с последующим понижением напряжения электромагнитным трансформатором ТН.

НАМИ – антирезонансный, масляный, для измерительных целей.

Технические данные трансформаторов напряжения приведены в таблицах 5.4 – 5.5

Таблица 5.4

## Технические характеристики антирезонансных трансформаторов напряжения 6,10 кВ

Тип	Номинальные напряжения обмоток, В			Класс точности в номинальном режиме	Мощность вторичных обмоток, В·А		Масса, кг	Длина×ширина×высота, мм
	обмотка ВН	обмотка НН основная	обмотка НН дополнительная		Основных (кл.0,5)	дополнит.		
НАМИ-10-У2	6000; 10000	100	100/3*	0,2	75	30	110	482×353×635
НАМИ-10-ХЛ2	6000; 10000	100	100/3*	0,2	75	30	110	482×353×635
НАМИ-10-Т2	6000; 10000	100	100/3*	0,2	75	30	112	482×444×635
НАМИТ-10-2УХЛ2	6000; 10000	100	100/3*	0,5; 1,0; 3,0	75	100	110	488×344×635
НАМИ-35	35000	100	100/3*	0,5; 1,0; 3,0	300	100	250	110×620×820
НАМИ-110	110000	100	100/3*	0,5; 1,0; 3,0	400	1200	325	-

Таблица 5.5

## Технические характеристики трехобмоточных трансформаторов напряжения

Тип трансформатора	Номинальные напряжения, В		Номинальная мощность для классов точности, В·А			Предельная мощность, В·А	Масса, кг
	высокое (ВН)	низкое (НН)	0,5	1	3		
НТМИ-6-66	3000 6000	100; 100/3*	50 70	75 150	200 300	400 630	59
ЗНОЛ.09-6	3000/√3; 3300/√3	100/√3; 100/3; 100	30	50	150	250	26,5
	6000/√3; 6300/√3 6600/√3; 6900/√3		50	75	200	400	
НТМИ-10-66	10 000	100; 100/3*	120	200	500	100	81
ЗНОЛ.09-10	10000/√3; 11000/√3	100/√3; 100/3; 100*	75	150	300	630	31,5

Тип трансформатора	Номинальные напряжения, В		Номинальная мощность для классов точности, В·А			Предельная мощность, В·А	Масса, кг
	высокое (ВН)	низкое (НН)	0,5	1	3		
ЗНОЛ.06-10	10000/ $\sqrt{3}$ ; 11000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$ ; 100/3; 100*	75	150	300	630	-
ЗНОЛ.0.6-15	13800/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$ ; 100/3; 100*	75	150	300	630	28,5
	15750/ $\sqrt{3}$						29,5
ЗНОЛ.06-20	18000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$ ; 100/3; 100*	75	150	300	630	-
	20000/ $\sqrt{3}$						32,5
ЗНОЛ.06-24	24000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$ ; 100/3; 100*	75	150	300	630	40,5
НКФ-110	110000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$ ; 100*	400	600	1200	2000	770
ЗНОГ-110-79	110000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$ ; 100*	400	600	120	2500	250
ЗНОГ-220-79	220000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$ ; 100*					390
НКФ-220-58	220000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$ ; 100*	400	600	1200	2000	1560
НКФ-330-73	330000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$ ; 100*	400	600	1200	2000	2125

\* Вторичное напряжение на дополнительной обмотке

Таблица 5.6

## Технические характеристики однофазных двухобмоточных трансформаторов напряжения

Тип	Номинальные напряжения обмоток, В			Мощность в классах точности, В.А			Масса, кг	Длина×ширина×высота, мм
	обмотка ВН	обмотка НН основная	обмотка НН дополнит.	0,5	1	3		
НОЛ.08-6	6000; 6300; 6600	100	-	50	75	200	28	-
НОЛ.11-6	6000	100; 127	-	-	-	250	16	-
НОМ-6-77УХЛ4	6000; 6300; 6600;	100	-	50	75	200	23(24)	271(320)×261×403
НОМ-10-66У2(Т2)	10000; 10500; 11000	100	-	75	150	300	31(32)	324(360)×324×478
НОМ-15-77УХЛ4	15000; 15750; 18000	100	-	75	150	300	77	591×336×662
НОМ-35-66У1 (Т1)	20000; 35000	100	-	150	250	600	92	600×495×890

Таблица 5.7

## Технические характеристики емкостных трансформаторов напряжения

Тип	Номинальные напряжения обмоток, В			Мощность в классах точности						Масс, кг	Длина×ширина×высота, мм
	обмотка ВН	обмотка НН основная	обмотка НН дополнит.	0,2	0,5	1	3	3Р	6Р		
НДЕ-110-У1(Т1)	$110000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100	100	150	200	400	400	600	600	554×634×1770
НДКМ-110	$110000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100	120	200	400	800	600	600	-	-
НДЕ-220-У1(Т1)	$220000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100	100	150	200	400	400	600	780	554×634×2850
НДКМ-220	$220000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100	120	200	400	800	600	600	-	-
НДКМ-330	$330000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100	150	300	500	800	600	150	-	-
НДЕ-500-У1	$500000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100	-	300	500	1000	-	-	3120	-

## 6. ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ КОМПЛЕКТНЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

**Камеры сборные одностороннего обслуживания (КСО)** предназначены для распределительных устройств напряжения 6 и 10 кВ.

Камеры КСО устанавливаются в закрытых помещениях трансформаторных подстанций, в машинных залах и других местах, недоступных для неинструктированного персонала. Камеры КСО выполняются по стандартным схемам первичных соединений. Они могут комплектоваться выключателями нагрузки и другими аппаратами высокого напряжения в зависимости от схемы. Совместно с комплектным устройством в соответствии с заказом поставляются торцевые панели и шинные мосты.

Камера представляет собой сварную металлоконструкцию, внутри которой размещена аппаратура главных цепей, на фасаде - приводы выключателей нагрузки и разъединителей. Доступ в камеру обеспечен через дверь, в которой имеется окно для обзора внутренней зоны. Дверь закрывается замком с ключом. Вверху камеры имеется короб, в котором прокладываются магистрали вторичных цепей или разрядника (ОПН).

**Комплектные распределительные устройства (КРУ)** применяются в электроустановках 6-10 кВ. Они классифицируются по условиям окружающей среды, конструктивному исполнению, типу коммутационного аппарата, особенностям обслуживания, защищенности токоведущих частей, роду оперативного тока и т. д. Ячейки КРУ предназначенные для работы в закрытых электроустановках изготавливаются с выкатными элементами.

**Комплектные распределительные устройства наружной установки (КРУН)** могут выполняться со стационарно установленными аппаратами и с выкатными элементами.

Технические характеристики камер КСО и КРУ приведены в таблицах 6.1 – 6.4.

Таблица 6.1

## Технические характеристики камер КСО-203 (РБ, г. Минск, ОДО «БелТовэкс»)

Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12
Номинальный ток главных цепей, А	400; 630
Номинальный ток выключателей нагрузки, А	400; 630
Номинальный ток отключения силовых выключателей, встроенных в КСО, кА	16 (20)
Ток электродинамической стойкости, кА: камер с выключателями нагрузки	51
камер с разъединителями	41
Ток термической стойкости, кА	16 (20)
Время протекания тока термической стойкости, кА	3
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В: цепей защиты, управления и сигнализации постоянного и переменного тока	220
цепей трансформаторов напряжения (защиты, измерения, учета, АВР)	100
цепей камер освещения	36

Таблица 6.2

**Технические характеристики камер КСО/БЕЛ -10 (РБ, г. Гомель, РНПУП «Ратон»)**

Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12
Номинальный ток главных цепей, А	630
Номинальный ток сборных шин, А	1000
Номинальный ток отключения силовых выключателей, встроенных в КСО, кА	12,5; 20
Ток электродинамической стойкости, кА:	20
Ток термической стойкости, кА	20
Время протекания тока термической стойкости, кА	3
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В: оперативных цепей постоянного тока оперативных цепей переменного тока цепей трансформаторов напряжения	110, 220 220 100
Масса, не более, кг	380
Срок службы, лет	25

Таблица 6.3

**Технические характеристики камер КСО-305 БЭСК (РБ, г. Минск, ОДО «Белэлектроспецкомплект»)**

Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Номинальный ток главных цепей, А	630
Номинальный ток сборных шин, А	630
Номинальный ток отключения нагрузки, А	630
Номинальный ток предохранителей, А	6...200
Ток термической стойкости, кА	30
Время протекания тока термической стойкости, кА	1
Испытательное напряжение изоляции при частоте 50 Гц, кВ	42
Габаритные размеры, мм	750×800×2000

Таблица 6.4

**Технические характеристики камер КСО-301  
(г. Великие Луки Псковской области, ЗАО «Завод электротехнического оборудования»)**

Номинальное напряжение, кВ	10
Номинальный ток главных цепей, А	400
Ток электродинамической стойкости, кА	51
Ток термической стойкости, кА	20
Время протекания тока термической стойкости, кА	3

Таблица 6.5

**Технические характеристики камер КСО-285 / КСО-272  
(СООО «Электротехническая компания «Ампербел», г. Кременчуг, Украина)**

Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Номинальный ток главных цепей, А	400; 630; 1000
Ток электродинамической стойкости, кА	51
Ток термической стойкости, кА	20
Время протекания тока термической стойкости, кА	3
Масса камер КСО285/ КСО272, кг	758 / 900

Таблица 6.6

## Технические характеристики камер КРУ

Параметр	Тип КРУ (ЗАО «Высоковольтный союз»)				
	КУ6С	КУ10С	КУ10Ц	ЗКВЭ-10	КУ-35
Номинальное напряжение, кВ	6	10	6; 10	6; 10	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2	12	7,2; 12	7,2; 12	-
Номинальный ток – главных соединений, А	630, 1000, 1600, 2000, 3150	630, 1000, 1600, 2000, 3150	630; 1000; 1600; 2000; 3150	630; 1000; 1600	630; 1000; 1600
– сборных шин, А	1600; 2000; 3150	1600; 2000; 3150	1000; 1600; 2000; 3150	-	-
Номинальный ток отключения, кА	40	20; 31,5; 40	20; 31,5	20	20
Ток электродинамической стойкости, кА	102, 128	51; 81; 102	51; 81	51	51
Ток термической стойкости, кА	40	20; 31,5; 40	20; 31,5	20	20
Время протекания тока термической стойкости, кА	3	3	3	3	3
Габаритные размеры, мм:					
– ширина	750, 900	750, 900	750; 900	800	1500
– глубина	1400, 1500	1400, 1500	1000; 1200	1150	2715
– высота каркаса	2300	2300	2000	2200	2200
Масса камер, кг	от 600		-	800	до 900

Таблица 6.7

## Технические характеристики камер КРУ/БЕЛ -10 (РБ, г. Гомель, РНПУП «Ратон»)

Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12
Номинальный ток главных цепей, А	630; 1000
Номинальный ток сборных шин, А	600
Номинальный ток отключения силовых выключателей, встроенных в КСО, кА	12,5; 20
Ток электродинамической стойкости, кА	51
Ток термической стойкости, кА	20
Время протекания тока термической стойкости, кА	3
Тип базового вакуумного выключателя	ВВ/TEL-10
Масса, не более, кг	800
Срок службы, лет	25

Таблица 6.8

## Технические характеристики камер КРУ

Параметр	Тип КРУ СООО «Электротехническая компания «Ампербел», г. Кременчуг, Украина				
	ВМ-1	ВМ-1	ВМ-1-РН	ВМ-4	КРУН(Б) -10У1
Номинальное напряжение, кВ	6	10	6	35	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2	12	7,2	40,5	12
Номинальный ток – главных соединений, А	400, 630, 1250, 1600, 2500, 3150	400, 630, 1250, 1600, 2500, 3150	315; 400; 630	1250; 1600; 2000; 2500; 3150	630; 1000
– сборных шин, А	630, 1000, 1600, 2000, 2500, 3150	630, 1000, 1600, 2000, 2500, 3150	630	-	400; 630
Номинальный ток отключения, кА	16; 20; 25; 31,5; 40	16; 20; 25; 31,5; 40	20	25; 31,5	12,5; 20
Ток электродинамической стойкости, кА	26; 51; 81; 102	26; 51; 81; 102	25	31,5	51
Ток термической стойкости, кА	10; 20; 25; 31,5; 40	10; 20; 25; 31,5; 40	10	81	12,5; 20
Время протекания тока термической стойкости, кА	3	3	1	3	3
Габаритные размеры, мм:					
– ширина	750; 900; 1000	750; 900; 1000	750	2235	1000
– глубина	1350	1350	1500	1200	1210
– высота каркаса	1800; 2140	1800; 2140	1800	2535	2800
Масса камер, кг	670	910	600	1680	1200

Таблица 6.9

**ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАМЕР КРУ и КСО (РБ, г. Минск, НВО «Иносат»)**

<b>Параметр</b>	<b>К-Ин 97</b>	<b>КСО –Ин 99</b>
Номинальное напряжение, кВ	6; 10	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12	7,2; 12
Номинальный ток – главных соединений, А	630, 1000, 1600, 2000, 3150	630,1000
– сборных шин, А	630, 1000, 1600, 2000, 3150	630; 1000
Номинальный ток отключения, кА	16; 20; 25; 31,5	16; 20
Ток электродинамической стойкости, кА	41; 51; 64; 81	41; 51
Ток термической стойкости, кА	16; 20; 25; 31,5	16; 20
Время протекания тока термической стойкости, кА	1	1
Габаритные размеры, мм:		
– ширина	800	800
– глубина	1270	900
– высота каркаса	2300	2400
Масса камер, кг	700	360

## 7. НЕИЗОЛИРОВАННЫЕ ПРОВОДНИКИ И ШИНЫ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

В электроустановках (электростанциях и подстанциях) применяются неизолированные жесткие проводники; неизолированные гибкие многопроволочные провода; кабели и комплектные токопроводы.

В последнее время применяются в основном алюминиевые токоведущие части и шины, но, в связи с уменьшением разницы цен алюминиевых и медных проводников, в последнее время, расширилась возможная область применения медных проводников. На подстанциях, в открытой части (РУ 35 кВ и выше), применяются обычно в качестве токоведущих частей и сборных шин гибкие многопроволочные провода. На напряжениях 35-220 кВ разработано ряд компактных конструкций РУ, в которых применяется жесткая ошиновка. При этом на напряжениях 110 и 220 кВ применяются трубчатые (круглые) токоведущие части и шины, а на напряжении 35 кВ обычно прямоугольного сечения. Соединение выводов трансформатора с закрытым РУ 6-10 кВ или с КРУ 6-10 кВ осуществляется гибким подвесным токопроводом, шинным мостом или закрытым комплектным токопроводом. В РУ 6-10 кВ применяется жесткая ошиновка. Для РУ НН (6-10 кВ), как правило, применяются однополосные шины. Отпайка к трансформатору собственных нужд выполняется обычно гибкими проводниками.

Технические характеристики жестких шин, токоведущих частей и проводников приведены в таблицах 7.1 – 7. 4. Технические параметры неизолированных гибких проводов приведены в таблице 7.5.

Таблица 7.1

## Допустимый длительный ток для шин круглого сечения

Диаметр, мм	Круглые шины		Медные трубы			Алюминиевые трубы			Стальные трубы				
	Ток, А		Внутренний и наружный диаметры, мм	Сечение, мм <sup>2</sup>	Ток, А	Внутренний и наружный диаметры, мм	Сечение, мм <sup>2</sup>	Ток, А	Условный проход, мм	Толщина стенки, мм	Наружный диаметр, мм	Переменный ток, А	
	Медные	Алюминиевые										без разреза	с продольным разрезом
6	155/155	120/120	12/15	63,62	340	13/16	68,32	295	8	2,8	13,5	75	-
7	195/195	150/150	14/18	100,53	460	17/20	87,17	345	10	2,8	17,0	90	-
8	235/235	180/180	16/20	113,10	505	18/22	125,66	425	15	3,2	21,3	118	-
10	320/320	245/245	18/22	125,66	555	27/30	134,30	500	20	3,2	26,8	145	-
12	415/415	320/320	20/24	138,23	600	26/30	175,92	575	25	4,0	33,5	180	-
14	505/505	390/390	22/26	150,80	650	25/30	215,98	640	32	4,0	42,3	220	-
15	565/565	435/435	25/30	215,98	830	36/40	238,76	765	40	4,0	48,0	255	-
16	610/615	475/475	29/34	247,40	925	35/40	294,52	850	50	4,5	60,0	320	-
18	720/725	560/560	35/40	294,52	1100	40/45	333,79	935	65	4,5	75,5	390	-
19	780/785	605/610	40/45	333,79	1200	45/50	373,06	1040	80	4,5	88,5	455	-
20	835/840	650/655	45/50	373,06	1330	50/55	412,33	1150	100	5,0	114	670	770
21	900/905	695/700	49/55	490,09	1580	54/60	537,21	1340	125	5,5	140	800	890
22	955/965	740/745	53/60	621,25	1860	64/70	631,46	1545	150	5,5	165	900	1000
25	1140/1165	885/900	62/70	829,38	2295	74/80	725,71	1770	-	-	-	-	-
27	1270/1290	980/1000	72/80	955,04	2610	72/80	955,04	2035	-	-	-	-	-
28	1325/1360	1025/1050	75/85	1256,63	3070	75/85	1256,63	2400	-	-	-	-	-
30	1450/1490	1120/1155	90/95	726,49	2460	90/95	726,49	1925	-	-	-	-	-
35	1770/1865	1370/1450	95/100	765,76	3060	90/100	1492,25	2840	-	-	-	-	-
38	1960/2100	1510/1620	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	2080/2260	1610/1750	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	2200/2430	1700/1870	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	2380/2670	1850/2060	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: В числителе приведены нагрузки при переменном токе, в знаменателе – при постоянном

Таблица 7.2

## Допустимый длительный ток для шин прямоугольных сечений

Размеры, мм	Медные шины			
	Ток*, А, при количестве полос на фазу			
	1	2	3	4
15×3	210	-	-	-
20×3	275	-	-	-
25×3	340	-	-	-
30×4	475	-	-	-
40×4	625	-/1090	-	-
40×5	700/705	-/1250	-	-
50×5	860/870	-/1525	-/1895	-
50×6	955/960	-/1700	-/2145	-
60×6	1125/1145	1740/1990	2240/2495	-
80×6	1480/1510	2110/2630	2720/3220	-
100×6	1810/1875	2740/3245	3170/3940	-
60×8	1320/1345	2160/2485	2790/3020	-
80×8	1690/1755	2620/3095	3370/3850	-
100×8	2080/2180	3060/3810	3930/4690	-
120×8	2400/2600	3400/4400	4340/5600	-
60×10	1475/1525	2560/2725	3300/3530	-
80×10	1900/1990	3100/3510	3990/4450	-
100×10	2310/2470	3610/4325	4650/5385	5300/6060
120×10	2650/2950	4100/5000	5200/6250	5900/6800

Таблица 7.3

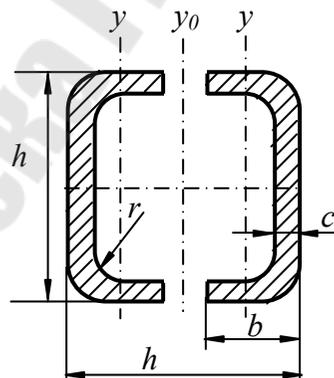
Размеры, мм	Алюминиевые шины			
	Ток при количестве полос на фазу			
	1	2	3	4
15×3	165	-	-	-
20×3	215	-	-	-
25×3	265	-	-	-
30×4	365/370	-	-	-
40×4	480	-/855	-	-
40×5	540/545	-/965	-	-
50×5	665/670	-/1180	-/1470	-
50×6	740/745	-/1315	-/1655	-
60×6	870/880	1350/1555	1720/1940	-
80×6	1150/1170	1630/2055	2100/2460	-
100×6	1425/1455	1935/2515	2500/3040	-
60×8	1025/1040	1680/1840	2180/2330	-
80×8	1320/1355	2040/2400	2620/2975	-
100×8	1625/1690	2390/2945	3050/3620	-
120×8	1900/2040	2650/3350	3380/4250	-
60×10	1155/1180	2010/2110	2650/2720	-
80×10	1480/1540	2410/2735	3100/3440	-
100×10	1820/1910	2860/3350	3650/4160	4150/4400
120×10	2070/2300	3200/3900	4100/4860	4650/5200

Примечание: В числителе приведены значения переменного тока, в знаменателе – постоянного

Таблица 7.4

## Технические характеристики шин коробчатого сечения

Размеры, мм				Поперечное сечение одной шины, мм <sup>2</sup>	Момент сопротивления, см <sup>3</sup>			Момент инерции, см <sup>4</sup>			Допустимый продолжительный ток на две шины, А	
h	b	c	r		одной шины		двух сращенных шин	одной шины		двух сращенных шин		
					$W_{x-x}$	$W_{y-y}$	$W_{y0-y0}$	$J_{x-x}$	$J_{y-y}$	$J_{y0-y0}$	медные	алюминиевые
75	35	4	6	520	10,1	2,52	23,7	41,6	6,2	89	2730	-
75	35	5,5	6	695	14,1	3,17	30,1	53,1	7,6	113	3250	2670
100	45	4,5	8	775	22,2	4,51	48,6	111	14,5	243	3620	2820
100	45	6	8	1010	27	5,9	38	135	18,5	290	4300	3500
125	55	6,5	10	1370	50	9,5	100	290,3	36,7	625	5500	4640
150	65	7	10	1785	74	14,7	167	560	68	1260	7000	5650
175	80	8	12	2440	122	25	250	1070	114	2190	8550	6430
200	90	10	14	3435	193	40	422	1930	254	4220	9900	7550
200	90	12	16	4040	275	46,5	490	2250	294	4900	10500	8830
225	105	12,5	16	4880	307	66,5	645	3450	490	7250	12500	10300
250	115	12,5	16	5450	360	81	874	4500	660	10300	-	10800



Поперечный разрез шины коробчатого сечения

Таблица 7.5

**Допустимый длительный ток для неизолированных проводов  
по ГОСТ 839-80**

Номи- нальное сечение, мм <sup>2</sup>	Сечение (алю- миний/ сталь), мм <sup>2</sup>	Ток, А, для проводов марок					
		АС, АСКС, АСК, АСКП		М	А и АКП	М	А и АКП
		вне по- меще- ний	внутри поме- щений	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	70/11	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	--				
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	--	--	--	--

## 8. ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ИЗОЛЯТОРЫ

По своему назначению и конструктивному выполнению изоляторы классифицируются на: опорные; проходные; подвесные.

По роду установки различают изоляторы для внутренней и наружной установки.

Изоляторы должны отвечать ряду требований, определяющих их электрические и механические характеристики. К электрическим характеристикам относятся: номинальное напряжение, пробивное напряжение, разрядные и выдерживаемые напряжения промышленной частоты. Основной механической характеристикой является минимальная разрушающая нагрузка, приложенная к головке изолятора в направлении, перпендикулярном его оси.

Изоляторы выполняются как из традиционных электроизоляционных материалов (фарфор, стекло), так и современных полимерных материалов. Заводы изготовители гарантируют для полимерных изоляторов их работоспособность на протяжении более 30 лет. Полимерные изоляторы обладают малой массой по сравнению с керамическими, высокой прочностью и т.п. Достоинством этих изоляторов является их надежность, превосходящая традиционные изоляторы в несколько раз. Технические характеристики изоляторов приведены в таблицах 8.1-8.5.

Таблица 8.1

Технические характеристики полимерных опорных стержневых изоляторов ИОСК:

Показатель	Обозначение типа изолятора		
	ИОСК 4-10/80-ІУХЛ1	ИОСК 6-10/80-ІУХЛ1	ИОСК 6-10/80-ІУХЛ1
Длина изоляционной части, мм $L$	91	92	117
Номинальное напряжение, кВ	10		
Минимальная механическая разрушающая сила на изгиб, не менее, кН	4	6	
Минимальный разрушающий крутящий момент, не менее, кН·м	0,245		

Таблица 8.2

**Технические характеристики опорных стержневых полимерных изоляторов ОТПК напряжением 20-110 кВ.**

Тип изолятора	Класс напряжения кВ	Мин. изгиб. усилие, кН	Строит. высота изолятора, мм	Масса, кг	
ОТПК 16-20-	20	16	355	25	
ОТПК 20-20-		20			
ОТПК 10-20-		10	360		
ОТПК 6-35-Б	35	6	440	27	
ОТПК 6-35-Д		6	570		
ОТПК 4 (6, 8, 10)-35-А-2		4 (6, 8, 10)	475		
ОТПК 12,5-35		12,5	500		
ОТПК 20-35		20		560	28
ОТПК 10-35		10		25	
ОТПК 20-35		20		26	
ОТПК 10-35		10		540	25
ОТПК 4-110		110		4	1020
ОТПК 6-110			6		
ОТПК 8-110	8				
ОТПК 10 (12,5)-110	10 (12,5)				
ОТПК 6-110	6		1050	34	
ОТПК 4-110-В			1220	36	
ОТПК 6-110-В				37	
ОТПК 8-110-В-2				37	
ОТПК 10-110-В			10	37	
ОТПК 12,5-110-В-2			12,5	38	
ОТПК 4 (6, 8)-110-2	6 (8)	1050	25		

Таблица 8.3

## Характеристики полимерных опорно-стержневых изоляторов 110 кВ

Параметры	ИОСПК-10-480- II УХЛ1 (НПФ "Альфа-Энерго")*	ИОСК 10-110/450-I УХЛ1 (ОАО "Энергия-21")	СПК 4-110/450-II УХЛ1 (ЗАО "Феникс-88")	СПК 4-110/450-II УХЛ1 (ЗАО "Комета-Энергомаш")
Номинальное напряжение, кВ	110	110	110	110
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	126	126	126	126
Отклонение верхнего фланца под воздействием изгибающей силы 1,5 кН, мм	10	5	4	5
Угол закручивания под воздействием крутящего момента 0,25 кНм, град	2	0,5	0,75	0,16
Минимальное разрушение усилие на изгиб, кН.	10	10	4	4

Таблица 8.4

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ ПРОХОДНЫХ ИЗОЛЯТРОВ 6...20 кВ

Наименование параметра	Значение параметра для типоразмеров			
	ИП-6/400-4 УХЛ2	ИП-10/630-8 УХЛ1	ИПУ-10/2000-12,5 УХЛ1	ИП-20/2000-12,5 УХЛ1
Классификационные параметры				
Номинальное напряжение, кВ	6	10	10	20
Номинальный ток, А	400	630	2000	2000
Разрушающее усилие на изгиб, кН	4	8	12,5	12,5

## 9. ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ КАБЕЛИ

Силовые высоковольтные кабели, применяемые в электроустановках, классифицируют по номинальному напряжению материалу токоведущих шин, типу изоляции и др.

В настоящее время кабели с пластмассовой изоляцией активно замещают кабели с бумажной изоляцией в классах среднего и высокого напряжения 10-220 кВ. Среди пластмассовых изолирующих материалов наиболее предпочтительным является сшитый полиэтилен (СПЭ) ввиду его хороших диэлектрических свойств (низкие величины относительной диэлектрической проницаемости, фактора потерь) и большого запаса термической стойкости.

### Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена

Основные преимущества кабеля из сшитого полиэтилена (СПЭ) по сравнению с кабелем с бумажной изоляцией представлены в табл. 9.1.

Таблица 9.1

**Основные характеристики изоляции из сшитого полиэтилена и их сравнение с характеристиками бумажной изоляции для кабелей среднего напряжения**

Основные показатели	Кабель с СПЭ изоляцией	Кабель с бумажной изоляцией
Длительно допустимая рабочая температура, °С	90	70
Допустимый нагрев в аварийном режиме, °С	130	100
Предельно допустимая температура при протекании тока КЗ, °С	250	200
Температура при прокладке без предварительного подогрева, не ниже, °С	– (15...20)	0
Относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon$ при 20 °С	2,4	4,0
Коэффициент диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$ при 20°С	0,001	0,008
Разница уровней на трассе прокладки, м	не ограничена	15
Температура при перегрузках, °С	130	75
Показатели надежности: – удельная поврежденность, шт/100 км в год в свинцовых оболочках; – в алюминиевых оболочках	н/д в 10 ... 15 раз ниже	– 6 – 17
Нагрузочная способность при прокладке, %: – в земле – в воздухе	117 120	100 100
Трудоемкость при монтаже и ремонте	низкая	высокая

*9.1. Одножильные кабели марок ПвП (ПвПу), АПвП (АПвПу),  
ПвВ (ПвВнг), АПвВ (АПвВнг) на напряжение 10 кВ*

**Конструкция:** Круглая медная или алюминиевая (многопроволочная или цельнотянутая) жила, полупроводящий слой по жиле, изоляция из сшитого полиэтилена, полупроводящий слой по изоляции, полупроводящая лента, экран из медных проволок и медная лента, разделительный слой, полиэтиленовая оболочка (усиленная полиэтиленовая оболочка с продольными ребрами жесткости) или оболочка из ПВХ пластиката (ПВХ пластиката пониженной горючести). Для обеспечения продольной герметизации экрана взамен полупроводящей ленты может использоваться водонабухающая полупроводящая лента, а взамен разделительного слоя – слой из водонабухающей непроводящей ленты или водонабухающего порошка.

Технические характеристики одножильных кабелей 10 кВ приведены в табл. 9.10.

*9.2. Трехжильные кабели марок ПвП (ПвПу), АПвП (АПвПу),  
ПвВ (ПвВнг), АПвВ (АПвВнг) на напряжение 10 кВ*

**Конструкция:** Круглая медная или алюминиевая (многопроволочная или цельнотянутая) жила, полупроводящий слой по жиле, изоляция из сшитого полиэтилена, полупроводящий слой по изоляции, полупроводящая лента, экран из медных проволок и медная лента, наложенные на каждую отдельную жилу, либо общий экран, общее покрытие, полиэтиленовая оболочка (усиленная полиэтиленовая оболочка с продольными ребрами жесткости) или оболочка из ПВХ пластиката (ПВХ пластиката пониженной горючести). Технические характеристики трехжильных кабелей приведены в табл. 9.11.

*9.3 Одножильные кабели марок ПвП (ПвПу), АПвП (АПвПу),  
ПвВ (ПвВнг), АПвВ (АПвВнг) на напряжение 35 кВ*

**Конструкция:** Круглая медная или алюминиевая (многопроволочная или цельнотянутая) жила, полупроводящий слой по жиле, изоляция из сшитого полиэтилена, полупроводящий слой по изоляции, полупроводящая лента, экран из медных проволок и медная лента, разделительный слой, полиэтиленовая оболочка (усиленная полиэтиленовая оболочка с продольными ребрами жесткости) или оболочка из ПВХ пластиката (ПВХ пластиката пониженной горючести). Для обеспечения продольной герметизации экрана взамен полупроводящей ленты может использоваться водонабухающая полупроводящая лента, а взамен разделительного слоя – слой из водонабухающей не-

проводящей ленты или водонабухающего порошка. Технические характеристики одножильных кабелей 35 кВ приведены в табл. 9.12.

Поправочные коэффициенты на условия прокладки для кабелей из сшитого полиэтилена представлены в таблицах 9.2-9.4.

Таблица 9.2

**Поправочные коэффициенты на температуру окружающей среды**

	Температура, °С											
	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
В земле	1,13	1,10	1,06	1,03	1,00	0,97	0,93	0,89	0,86	0,82	0,77	0,73
В воздухе	1,21	1,18	1,14	1,11	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78

Условия расчета токов короткого замыкания. Для всех типов кабеля и сечений ток КЗ вычисляется, исходя из нижеприведённых условий.

Допустимая температура на жиле, °С:

до короткого замыкания 90

при коротком замыкании 250

Допустимая температура на медном экране, °С:

до короткого замыкания 70

при коротком замыкании 350

Поправочные коэффициенты на удельное сопротивление грунта приведены в табл. 9.3.

Поправочные коэффициенты на проложенные рядом кабели приведены в табл. 9.4.

Таблица 9.3

**Поправочные коэффициенты на удельное сопротивление грунта**

	Удельное термическое сопротивление грунта, К·м/Вт						
	0,7	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
Поправочный коэффициент	1,10	1,00	0,92	0,85	0,75	0,69	0,63

Таблица 9.4

**Поправочные коэффициенты на рядом проложенные кабели**

Тип кабелей и номинальное напряжение	Число кабелей /систем				
	2	4	6	8	10
Одножильные, 10-35 кВ	0,85	0,70	0,63	0,58	0,56
Трёхжильные, 10 кВ	0,85	0,70	0,63	0,59	0,56

Токи короткого замыкания. Односекундные токи короткого замыкания по жиле и экрану не должны превышать приведенных в табл. 6.5 и 6.6.

Для продолжительности короткого замыкания, отличающейся от 1 с, значения токов умножаются на коэффициент

$$K = \frac{1}{\sqrt{t}},$$

где  $t$  – продолжительность короткого замыкания, с.

Таблица 9.5

	Сечение жилы, мм <sup>2</sup>												
	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500	630	800
1-сек. ток КЗ жилы, кА													
медная	5,0	7,2	10,0	13,6	17,2	21,5	26,5	34,3	42,9	57,2	71,5	90,1	114,4
алюминиевая	3,3	4,7	6,6	8,9	11,3	14,2	17,5	22,7	28,2	37,6	47,0	59,2	75,2

Таблица 9.6

	Сечение экрана, мм <sup>2</sup>				
	16	25	35	50	70
1-сек. ток КЗ экрана, кА	3,3	5,1	7,1	10,1	14,1

Величины сопротивлений жилы постоянному току, индуктивно-го сопротивления и емкостей кабелей приведены соответственно в табл. 9.7, 9.8 и 9.9.

Таблица 9.7

**Сопротивление жилы постоянному току при 20°С**

Номинальное сечение жилы, мм	Сопротивление, Ом/км		Номинальное сечение жилы, мм	Сопротивление, Ом /км	
	медной жилы	алюминиевой жилы		медной жилы	алюминиевой жилы
35	0,524	0,868	240	0,0754	0,125
50	0,387	0,641	300	0,0601	0,100
70	0,268	0,443	400	0,0470	0,0778
95	0,193	0,320	500	0,0366	0,0605
120	0,153	0,253	630	0,0283	0,0469
150	0,124	0,206	800	0,0221	0,0367
185	0,0991	0,164			

Таблица 9.8

## Индуктивное сопротивление жилы при частоте 50 Гц

Номинальное сечение, мм <sup>2</sup>	Индуктивное сопротивление, Ом/км				
	многожильный кабель	10 кВ		35 кВ	
		одногожильный кабель			
		 *		 *	
35	0,116	0,238	0,158	–	–
50	0,110	0,228	0,150	0,234	0,154
70	0,103	0,219	0,143	0,225	0,147
95	0,099	0,210	0,137	0,216	0,139
120	0,095	0,203	0,132	0,210	0,134
150	0,092	0,194	0,128	0,201	0,129
185	0,090	0,189	0,124	0,196	0,125
240	0,087	0,182	0,120	0,189	0,120
300	0,084	0,179	0,116	0,183	0,115
400	–	0,166	ОДП	0,173	0,110
500	–	0,161	0,108	0,168	0,106
630	–	0,153	0,104	0,160	0,103
800	–	0,148	0,101	0,155	0,100

\* Расстояние между кабелями – 7 см.

Таблица 9.9

## Емкость кабелей

Емкость кабеля, мкФ/км	Номинальное сечение жил, мм <sup>2</sup>												
	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500	630	800
10 кВ	0,21	0,23	0,26	0,29	0,31	0,34	0,37	0,41	0,45	0,50	0,55	0,61	0,68
35 кВ	–	0,13	0,15	0,16	0,18	0,19	0,20	0,22	0,24	0,27	0,29	0,33	0,36

Таблица 9.10

## Технические характеристики одножильных кабелей из сшитого полиэтилена на номинальное напряжение 10 кВ

	Сечение кабеля номинальное, мм <sup>2</sup>												
	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500	630	800
Сечение	16	16	16	16	16	25	25	25	25	35	35	35	35
экрана, мм <sup>2</sup>	(25)	(25)	(25)	(25)	(25)	(35)	(35)	(35)	(35)				
Толщина изоляции, мм	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Толщина оболочки, мм	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
D внешний, мм	25	28	30	31	33	34	36	38	40	44	47	50	54
Масса прибр. *, кг/км:													
алюминиевая жила	600	725	825	935	1040	1230	1370	1575	1795	2195	2570	3015	3605
медная жила	850	1020	1260	1540	1800	2175	2530	3100	3730	4655	5705	7150	8800
Минимальный радиус изгиба, см	40	45	45	45	50	50	55	60	60	65	70	75	80
Дополнительное усилие тяжения, кН:													
алюминиевая жила	1,05	1,50	2,10	2,85	3,60	4,50	5,55	7,20	9,00	12,0	15,0	18,9	24,0
медная жила	1,75	2,50	3,50	4,75	6,00	7,50	9,25	12,0	15,0	20,0	25,0	31,5	40,0
Нормальная длина поставки, м	2500	2500	2200	2000	1800	1800	1600	1400	1200	1000	800	800	700
Длительно допустимый ток в земле, А:													
медная жила 	185	220	270	320	360	410	460	530	600	680	750	830	920
алюминиевая жила 	145	170	210	250	280	320	360	415	475	540	610	680	735
Длительно допустимый ток в земле, А:													
медная жила 	210	230	280	335	380	430	485	560	640	730	830	940	1030
алюминиевая жила 	165	175	215	260	295	330	375	440	495	570	650	750	820
Длительно допустимый ток в воздухе, А:													
медная жила 	195	245	300	370	425	475	545	645	740	845	955	1115	1270
алюминиевая жила 	155	185	235	285	330	370	425	505	580	675	780	910	1050
Длительно допустимый ток в воздухе, А:													
медная жила 	235	290	360	435	500	560	635	745	845	940	1050	1160	1340
алюминиевая жила 	180	225	280	340	390	440	505	595	680	770	865	1045	1195

\* Масса и внешний диаметр кабеля даны для кабелей марок ПвП и АПвП с многопроволочными жилами и с основным сечением экрана

Таблица 9.11

## Технические характеристики трехжильных кабелей из сшитого полиэтилена на напряжение 10 кВ

	Сечение жил, мм <sup>2</sup>								
	35	50	70	95	120	150	185	240	300
Общее сечение экрана, мм <sup>2</sup>	16 (25)	16 (25)	16 (25)	16 (25)	16 (25)	25 (35)	25 (35)	25 (35)	25 (35)
Толщина изоляции, мм	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Толщина оболочки, мм	2,5	2,5	2,5	2,7	2,8	2,9	3,0	3,2	3,3
D внешний, мм	44	46	50	54	57	61	65	70	76
Масса прибл. *, кг/км: медные жилы	2250	2770	3450	4350	5150	6150	7300	9100	11150
алюминиевые жилы	-	1600	2000	2500	2800	3100	3700	4300	-
Минимальный радиус изгиба, см	70	70	75	85	90	95	100	105	115
Нормальная длина поставки, м	1000	1000	800	700	600	550	500	500	500
Длительно допустимый ток в земле, А: медные жилы	178	210	256	307	349	392	443	513	577
алюминиевые жилы	-	162	199	238	271	304	345	401	-
Длительно допустимый ток в воздухе, А: медные жилы	173	206	257	313	360	410	469	553	629
алюминиевые жилы	-	160	199	242	280	318	365	431	-

\* Масса кабеля дана для кабелей марок ПвП и АПвП с многопроволочными жилами и основным сечением экрана.

Таблица 9.12

## Технические характеристики одножильных кабелей из сшитого полиэтилена на номинальное напряжение 35 кВ

	Сечение кабеля номинальное, мм <sup>2</sup>											
	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500	630	800
Сечение экрана, мм <sup>2</sup>	16 (25)	16 (25)	16 (25)	16 (25)	16 (25)	25 (35)	25 (35)	25 (35)	35	35	35	35
Толщина изоляции, мм	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Толщина оболочки, мм	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,6	2,7	2,8	2,7	3,1
D, внешний, мм	38	40	42	43	44	46	48	51	54	56	57	66
Масса *, кг/м												
алюминиевая жила	1170	1290	1430	1550	1760	1930	2170	2430	2695	2890	3330	4530
медная жила	1460	1730	2030	2310	2710	3090	3690	4360	4655	5350	6470	9640
Минимальный радиус изгиба, см	57	60	63	65	66	69	72	77	79	81	86	99
Дополнительное усилие тяжения, кН:												
алюминиевая жила	1,5	2,1	2,85	3,60	4,5	5,55	7,20	9,20	12,0	15,0	18,9	24,0
медная жила	2,50	3,50	4,75	6,00	7,50	9,25	12,0	15,0	20,0	25,0	31,5	40,0
Нормальная длина поставки, м	1200	1200	1200	1000	1000	1000	800	800	600	600	600	500
Длит. допустимый ток, в земле, А:												
медная жила 	232	282	336	380	425	479	554	624	704	795	888	970
алюминиевая жила 	180	220	261	296	330	374	433	489	559	639	559	815
Длит. допустимый ток, в земле, А:												
медная жила 	254	308	367	413	454	507	581	630	703	774	854	930
алюминиевая жила 	198	241	286	323	357	401	463	509	575	646	723	802
Длит. допустимый ток в воздухе, А:												
медная жила 	251	312	378	435	492	562	662	751	866	993	1160	1320
алюминиевая жила 	195	242	294	339	382	439	517	589	687	795	928	1070
Длит. допустимый ток в воздухе, А:												
медная жила 	294	365	443	508	571	650	758	856	960	1089	1203	1390
алюминиевая жила 	228	284	345	398	447	512	602	682	781	897	1084	1239

\* Масса и внешний диаметр кабеля даны для кабелей марок ПвП и АПвП с многопроволочными жилами и с основным сечением экрана

Таблица 9.13

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

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Ток для кабелей, А		
	трёхжильных напряжением, кВ		
	до 3	6	10
6	70	-	-
10	95	80	-
16	120	105	95
25	160	135	120
35	190	160	150
50	235	200	180
70	285	245	215
95	340	295	265
120	390	340	310
150	435	390	355
185	490	440	400
240	570	510	460

Таблица 9.14

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

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Ток для кабелей, А		
	трёхжильных напряжением, кВ		
	до 3	6	10
6	55	-	-
10	75	60	-
16	90	80	75
25	125	105	90
35	145	125	115
50	180	155	140
70	220	190	165
95	260	225	205
120	300	260	240
150	335	300	275
185	380	340	310
240	440	390	355

Таблица 9.15

Допустимый длительный ток для трёхжильных кабелей напряжением 6 кВ с медными жилами с обеднённопропитанной изоляцией в общей свинцовой оболочке, прокладываемых в земле и в воздухе

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Ток, А, для кабелей проложенных	
	в земле	в воздухе
16	90	65
25	120	90
35	145	110
50	180	140
70	220	170
95	265	210
120	310	245
150	355	290

Таблица 9.16

Допустимый длительный ток для трёхжильных кабелей напряжением 6 кВ с алюминиевыми жилами с обеднённопропитанной изоляцией в общей свинцовой оболочке, прокладываемых в земле и в воздухе

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Ток, А, для кабелей проложенных	
	в земле	в воздухе
16	70	50
25	90	70
35	110	85
50	140	110
70	170	130
95	205	160
120	240	190
150	275	225

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Силовые трансформаторы и автотрансформаторы .....	3
2. Коммутационные аппараты .....	17
3. Устройства ограничения перенапряжений .....	36
4. Токоограничивающие реакторы .....	40
5. Измерительные трансформаторы .....	47
6. Высоковольтные комплектные распреустройства .....	59
7. Неизолированные проводники и шины в электроустановках	67
8. Высоковольтные изоляторы .....	73
9. Высоковольтные кабели .....	76

**Бохан Александр Николаевич  
Жуковец Светлана Григорьевна**

## **ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

**Пособие  
по курсовому и дипломному проектированию  
для студентов специальности 1-43 01 03  
«Электроснабжение (по отраслям)»**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 29.06.10.

Пер. № 2Е.

E-mail: [ic@gstu.by](mailto:ic@gstu.by)

<http://www.gstu.by>